LOS SECRETOS
DEL MAR

JACQUES COUSTEAU



diario
ámbito financiero

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

COUSTEAU

LOS SECRETOS DEL MAR

TOMO 2

diario
ámbito financiero

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

ÍNDICE GENERAL

Dirección editorial: Julián Viñuales Solé

Asesores científicos: Serge Bertino, Rhodes W. Fairbridge, Antonio Ribera y Vicente Manuel Fernández

Traducción: Vicente Manuel Fernández y Miguel Aymerich

Coordinación editorial: Julián Viñuales Lorenzo

Coordinación técnica: Pilar Mora

Coordinación de producción: Miguel Angel Roig

Publicado por:
Editorial AMFIN S.A.
Paseo Colón 1196 - (1063) Capital Federal

All rights reserved. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, almacenada o transmitida de manera alguna ni por ningún medio, ya sea éste electrónico, mecánico, óptico, de grabación magnética o xerografiado, sin la autorización del editor.

© Jacques-Yves Cousteau, The Cousteau Society, Inc.
y Grupo Editorial Fabbri, S.p.A. Milán
© Ediciones Folio, S.A., Diciembre 1993

De esta obra hubo una edición anterior de doce volúmenes titulada genéricamente *Los secretos del Mar.*

ISBN: 84-413-0851-9 (Obra completa)
84-413-0852-7 (fascículos)

MORGAN INTERNATIONAL Printed in Chile

Nuestro planeta de agua

Rhodes W. Fairbridge

La Tierra, planeta singular



La distribución del agua sobre la Tierra. La fotografía inferior pone de manifiesto no sólo la inmensa superficie que el agua ocupa en el globo terráqueo, sino también la variedad de formas que adopta: líquida en los océanos, lagos y ríos; sólida en las zonas glaciares (la masa blanca, en la parte de abajo de la Tierra, muestra la Antártida y su banco de hielo), y gaseosa en las nubes de la atmósfera. La mayor parte del agua terrestre (en total, 1.400.000.000 de km.^{3}) la contienen los mares (1.360.000.000 de km.^{3}). El resto (40.000.000 de km.^{3}) se reparte entre el hielo de los polos y de las montañas (29.000.000 de km.^{3}), las capas subterráneas (8.400.000 km.^{3}), los ríos, los lagos y la atmósfera (2.600.000 km.^{3}). Esta distribución es la que simboliza el esquema de la izquierda.



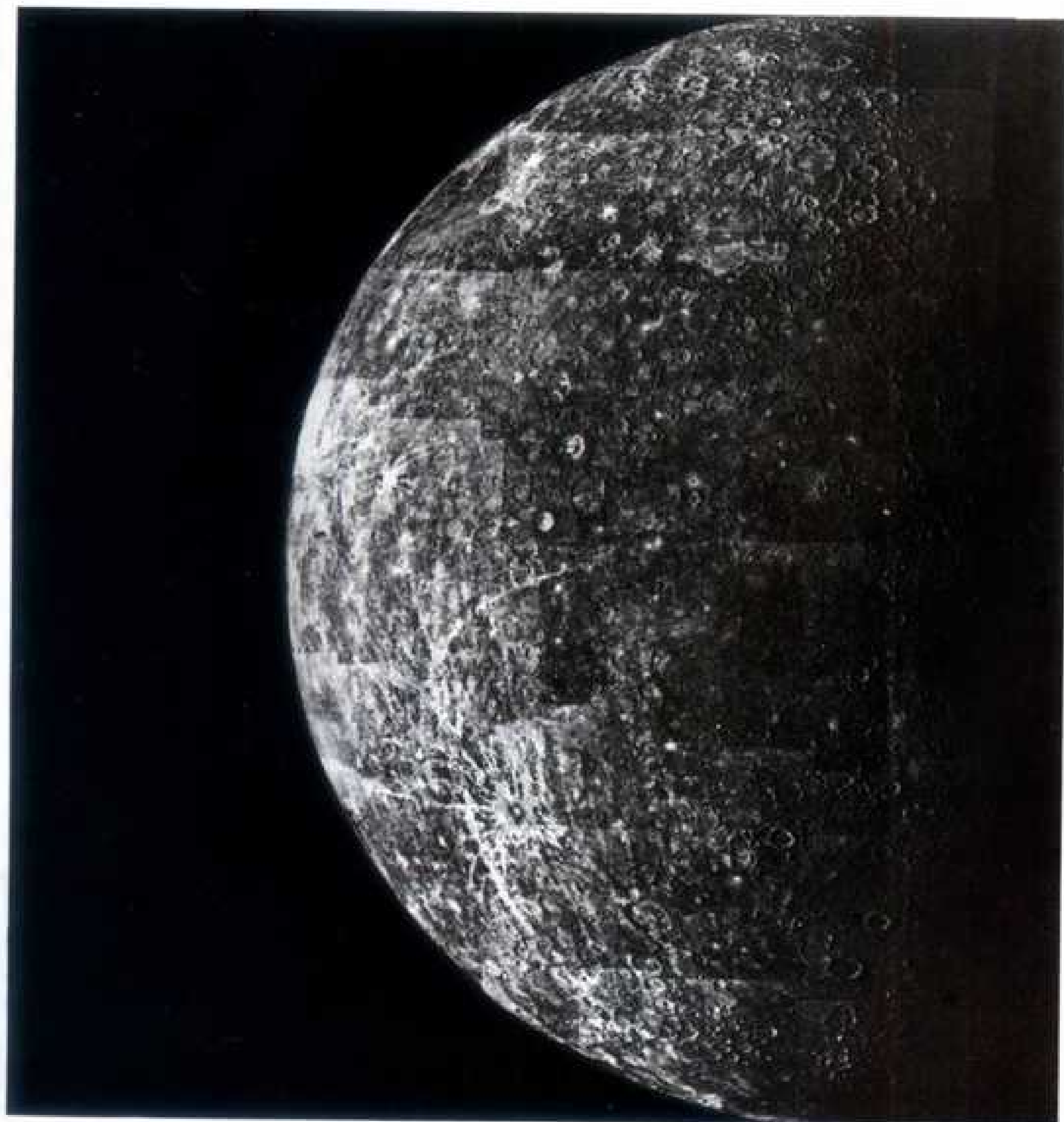
La Tierra es diferente a todos los demás cuerpos celestes del sistema solar: se distingue de ellos porque una gran parte de su superficie está cubierta por una capa de agua en estado líquido. El agua salada constituye esencialmente la llamada hidrosfera (del griego *«hydros»*, «agua»). En efecto, más del 97 por 100 de la hidrosfera está representada por los océanos, que cubren el 71 por 100 de la superficie de nuestro planeta. El 3 por 100 restante de agua se encuentra en los lagos, los ríos, las capas subterráneas, las nubes y, sobre todo, en los hielos de los polos y de las montañas.

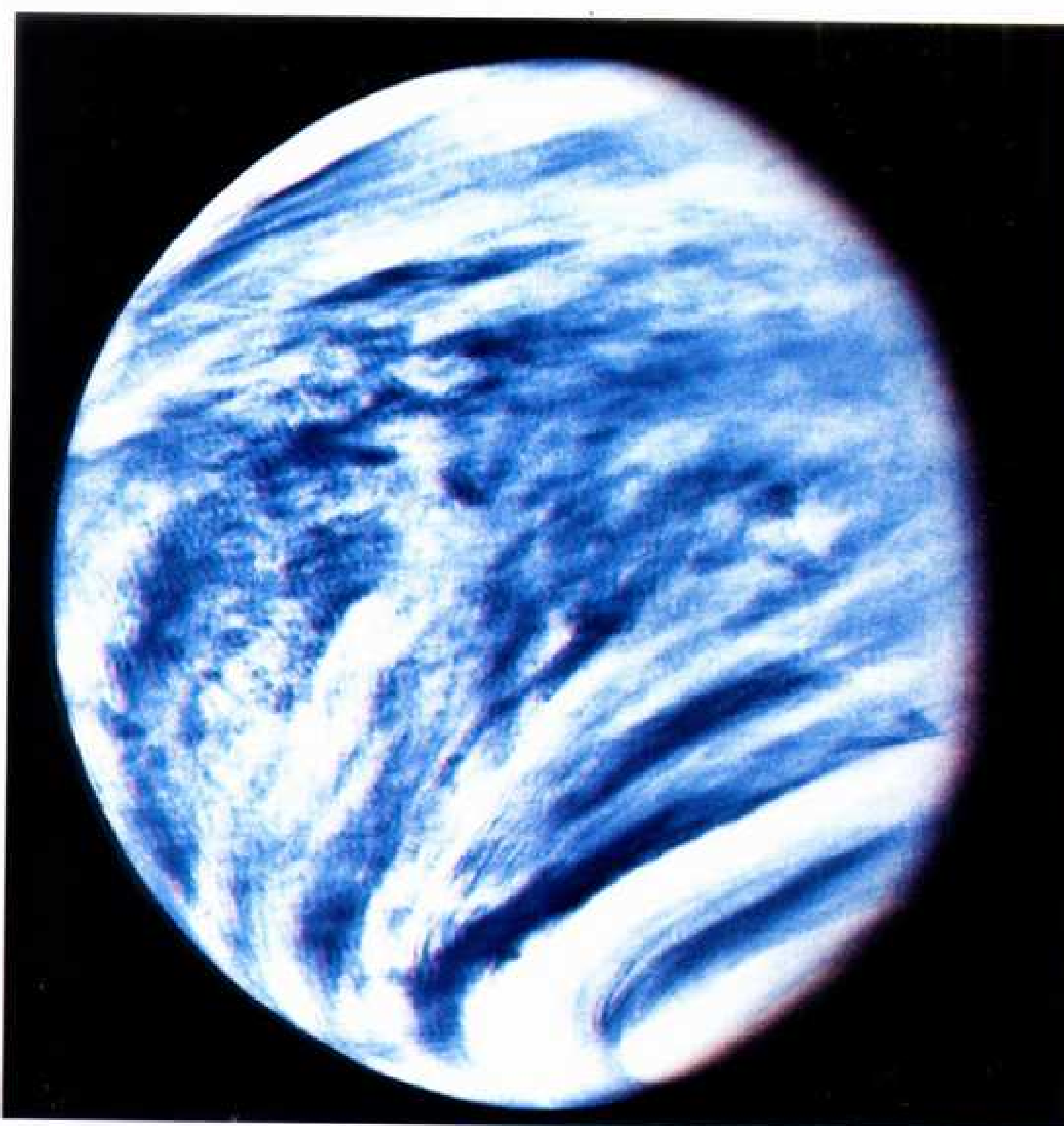
Lo que hace que la Tierra sea un planeta excepcional es que su agua, o casi toda, se encuentra en estado líquido. En Marte, por ejemplo, el agua que pueda haber es toda hielo, dadas las temperaturas extremas que allí imperan. Mientras que en Venus, al hacer un calor asfixiante, sólo se halla en estado gaseoso, esto es, en forma de vapor. La distancia existente entre el Sol y la Tierra condiciona igualmente su clima: una mínima variación de la órbita de nuestro planeta le haría, probablemente, inhabitable. También las dimensiones del globo terráqueo juegan un papel muy importante en este sentido: si fuera un poco menor, la fuerza de gravedad que ejerce no bastaría para retener en la atmósfera el vapor de agua, y éste escaparía hacia el espacio. Si, por el contrario, fuera mayor, la situación sería también comprometida, pues a duras penas podrían formarse los volcanes; y son éstos los que, día a día, liberan en la atmósfera miles de toneladas del agua «joven» que surge de las entrañas de nuestro planeta.

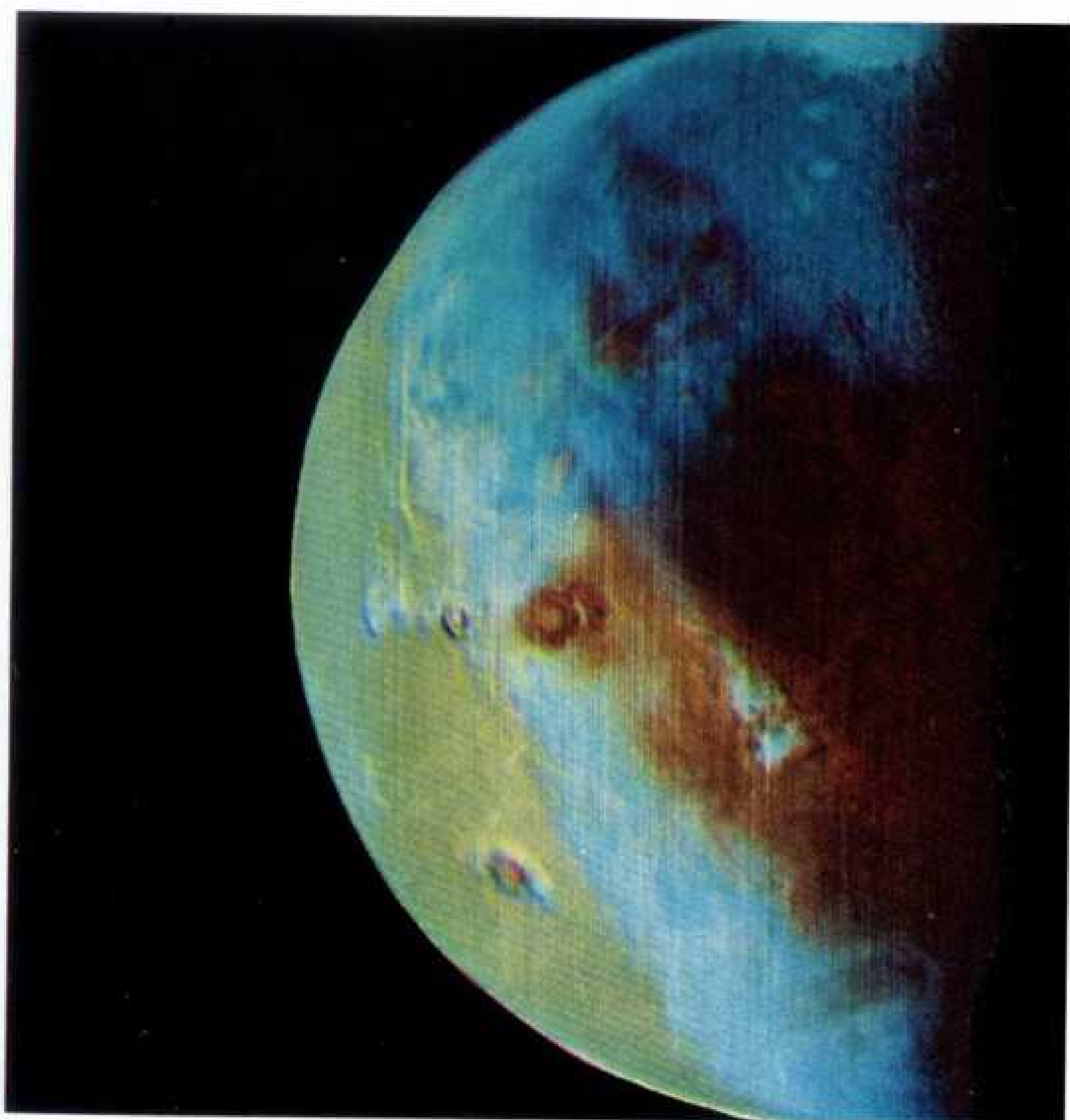
Entre los científicos se ha suscitado una interesante discusión sobre la posible existencia de planetas similares a la Tierra en nuestra galaxia y en otros lugares del universo. Algunos, incluso están convencidos de que sólo en nuestra galaxia debe de haber varios millones de globos semejantes al nuestro, en los que la vida podría haber surgido y evolucionado. De un tiempo a esta parte, en los observatorios astronómicos se están utilizando los radiotelescopios para «escuchar» los mensajes que pudieran estar enviando desde el espacio exterior algunas civilizaciones inteligentes extraterrestres.

Pero no todos los especialistas dan muestras de semejante optimismo. La hipótesis de la existencia de múltiples mundos habitados no les convence del todo. Hay quienes dicen que son pocas las probabilidades de que exista en otro lugar un conjunto tan acabado y sutil, tan complejo y peculiar como el que constituye la hidrosfera de nuestro planeta.

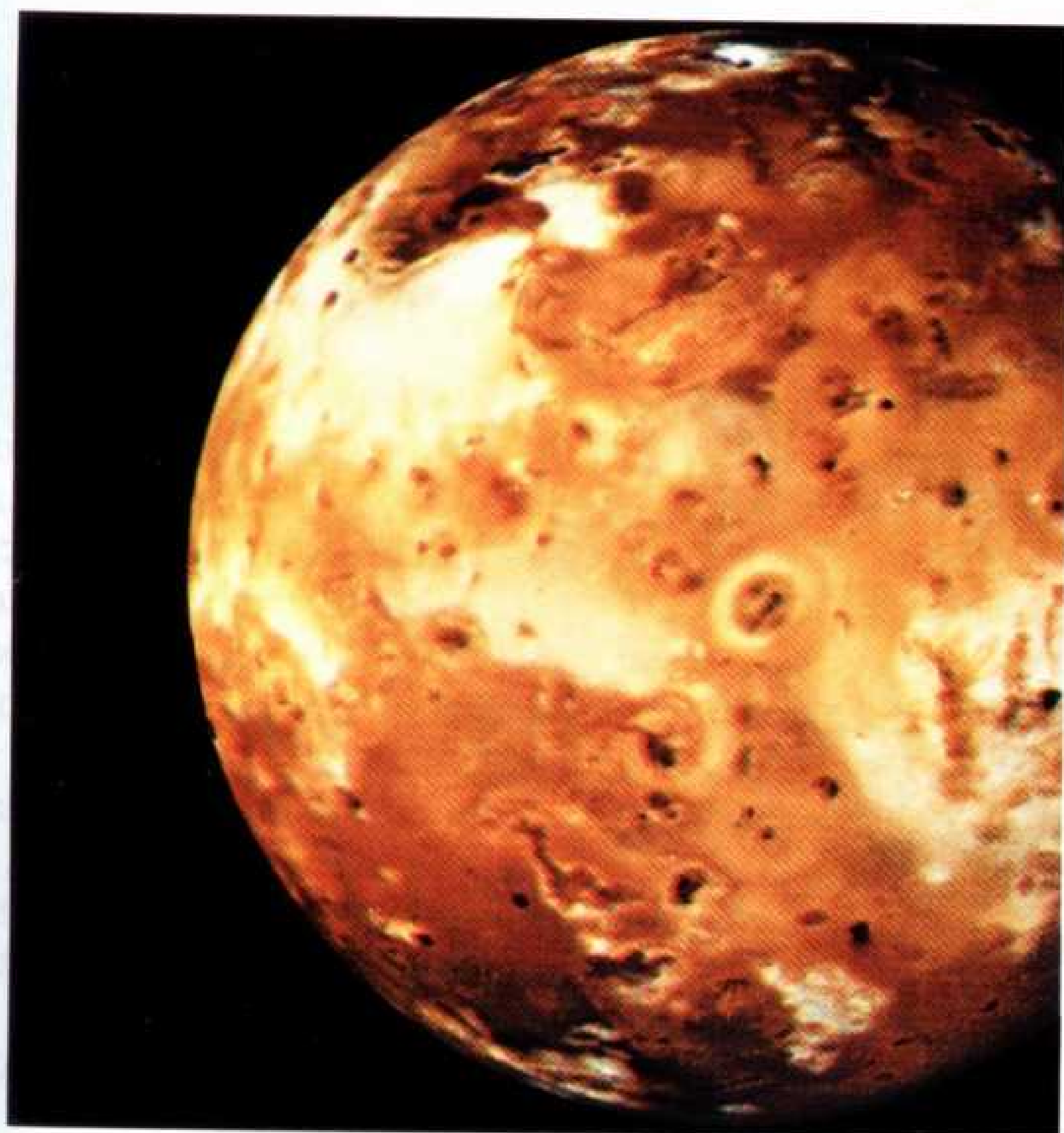
¿Qué es, pues, lo que hace del agua un elemento tan valioso? Su propiedad más importante es la de comportarse como un solvente casi universal. En una solución, las reacciones químicas sobrevienen a un ritmo trepidante: esta es la condición principal para que los átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno puedan llevar a cabo su alquimia misteriosa. Por lo demás, en el agua de mar se encuentran disueltos prácticamente todos los elementos en proporciones muy bajas, hasta los más valiosos (oro, plata...).









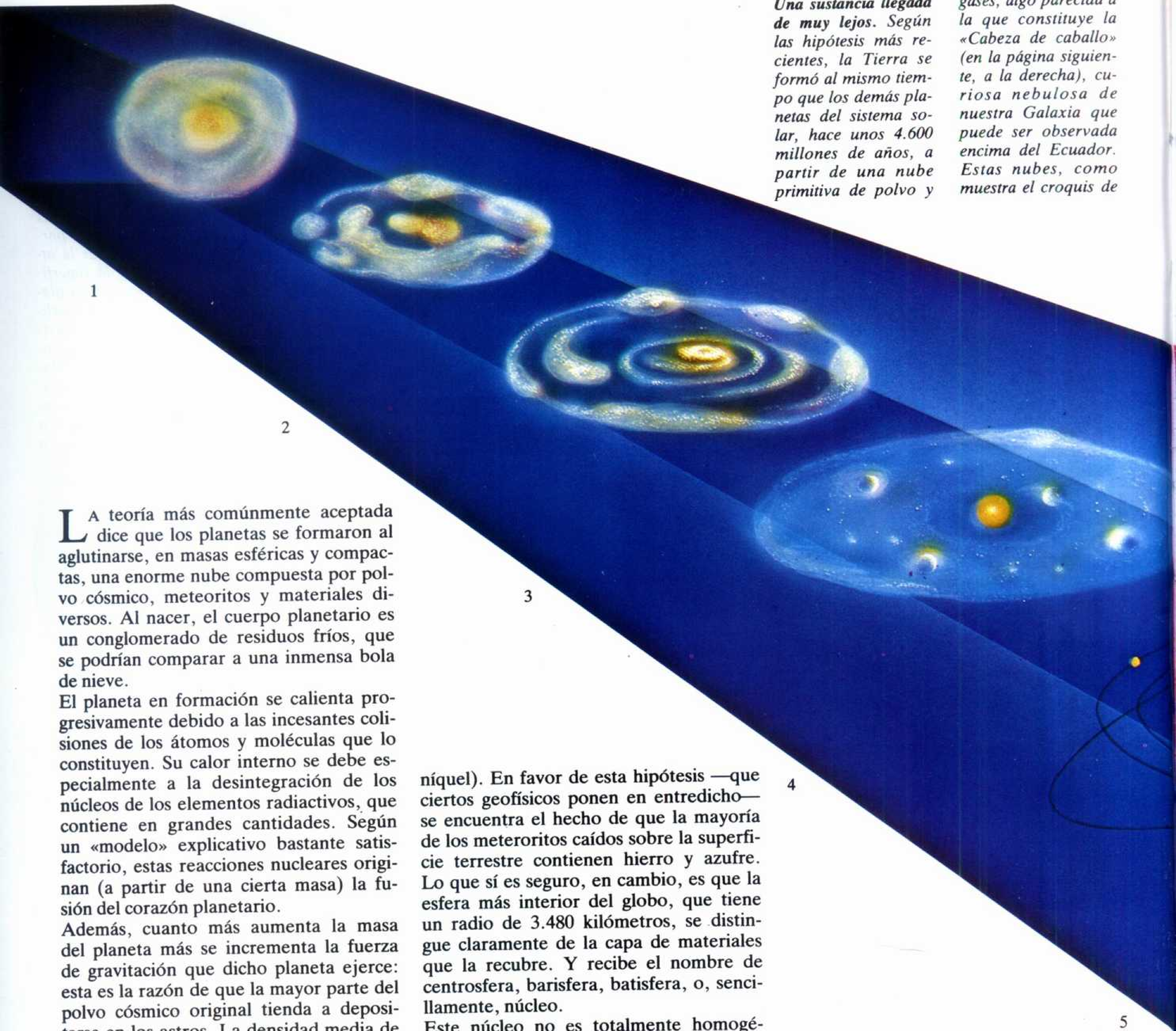




El hombre y la vida en el sistema solar. *El agua abunda en el sistema solar, pero es en la Tierra donde existe en grandes cantidades en estado líquido. Investigaciones llevadas a cabo en los últimos años, con ayuda especialmente de las sondas espaciales, han permitido estudiar la atmósfera y la superficie de numerosos planetas y de sus satélites. Mercurio (arriba, a la izquierda, fotografiado por el* Mariner 10*) está indudablemente desprovisto de agua. Esta, en cambio, existe en cantidades limitadas en las espesas nubes de Venus, compuestas sobre todo por metano y ácido sulfúrico; nuestro planeta gemelo (arriba, a la derecha, fotografiado también por el* Mariner 10*) es inhóspito, porque a nivel del suelo reina una presión de 90 atmósferas y una temperatura de 480° C. En Marte (en el centro, a la izquierda), el agua está presente en los casquetes glaciares de ambos polos; mientras que en Júpiter (en el centro, a la derecha) se encuentra en forma de cristales de hielo en las nubes. Las fotografías de abajo muestran, a la izquierda, a Io, y a la derecha, a Ganimedes, dos de los satélites galileanos de Júpiter. El primero perdió buena parte del agua original; el segundo está constituido por un núcleo rocoso, una envoltura de agua en estado líquido y una corteza externa de hielo. Si la vida no puede surgir sino en el seno del agua líquida superficial, investigaciones realizadas han puesto de manifiesto que la Tierra es el único astro del sistema solar en que pudo desarrollarse.*

El nacimiento de la Tierra

Una sustancia llegada de muy lejos. Según las hipótesis más recientes, la Tierra se formó al mismo tiempo que los demás planetas del sistema solar, hace unos 4.600 millones de años, a partir de una nube primitiva de polvo y gases, algo parecida a la que constituye la «Cabeza de caballo» (en la página siguiente, a la derecha), curiosa nebulosa de nuestra Galaxia que puede ser observada encima del Ecuador. Estas nubes, como muestra el croquis de



La teoría más comúnmente aceptada dice que los planetas se formaron al aglutinarse, en masas esféricas y compactas, una enorme nube compuesta por polvo cósmico, meteoritos y materiales diversos. Al nacer, el cuerpo planetario es un conglomerado de residuos fríos, que se podrían comparar a una inmensa bola de nieve.

El planeta en formación se calienta progresivamente debido a las incesantes colisiones de los átomos y moléculas que lo constituyen. Su calor interno se debe especialmente a la desintegración de los núcleos de los elementos radiactivos, que contiene en grandes cantidades. Según un «modelo» explicativo bastante satisfactorio, estas reacciones nucleares originan (a partir de una cierta masa) la fusión del corazón planetario.

Además, cuanto más aumenta la masa del planeta más se incrementa la fuerza de gravitación que dicho planeta ejerce: esta es la razón de que la mayor parte del polvo cósmico original tienda a depositarse en los astros. La densidad media de la Tierra es de 5,67 (en contraposición a la del agua, que es de 1). Si sabemos que las rocas superficiales tienen un peso específico de 3,5 —claramente inferior a la media—, debemos por fuerza concluir que las partes interiores del globo son mucho más densas. En una Tierra cuyo corazón se encuentra en mayor o menor estado de fusión es natural que los materiales más ligeros floten sobre los más pesados. Los datos obtenidos, merced al estudio de la propagación de las ondas sísmicas, sugieren que la parte más profunda de nuestro planeta está quizá compuesta en su mayoría por hierro, junto con cantidades menores de azufre (algunos añaden que también de níquel). En favor de esta hipótesis —que ciertos geofísicos ponen en entredicho— se encuentra el hecho de que la mayoría de los meteoritos caídos sobre la superficie terrestre contienen hierro y azufre. Lo que sí es seguro, en cambio, es que la esfera más interior del globo, que tiene un radio de 3.480 kilómetros, se distingue claramente de la capa de materiales que la recubre. Y recibe el nombre de centrosfera, barisfera, batisfera, o, sencillamente, núcleo.

Este núcleo no es totalmente homogéneo. Investigaciones llevadas a cabo por una geofísica danesa, Ingrid Lehmann, han puesto de manifiesto que está constituido por una parte interna sólida y una parte exterior más fluida. Por encima del núcleo se extiende el manto de la Tierra, que tiene 2.890 kilómetros de espesor y está compuesto por una mezcla de metales, entre los que prevalecen el silicio y el magnesio, encontrándose también grandes cantidades de calcio y aluminio, así como algunos cuerpos volátiles. Al decir de ciertos geofísicos, el manto podría ser el material primigenio de la Tierra, al «resbalar» los elementos más pesados para constituir el núcleo, mientras que los más ligeros debieron «sobrenadar» para constituir la corteza terrestre y las capas atmosféricas.

La corteza terrestre descansa sobre una parte muy fluida del manto, llamada astenosfera. Las erupciones volcánicas proyectan incesantemente a la superficie materiales procedentes de esta capa. Los gases constituyen la atmósfera. El vapor de agua, al condesarse, forma la hidrosfera.

Los gases de la atmósfera se rarifican gradualmente. Se debe añadir que, a gran altitud, nuestro planeta está rodeado por un sistema de líneas de fuerzas magnéticas llamado magnetosfera, que le protege del bombardeo de partículas cósmicas prodecentes del espacio.

abajo, están animadas de un movimiento de rotación que les confiere la apariencia de un disco más denso y caliente en el centro que en su periferia (2). Los materiales se agregan localmente, según densidades y temperaturas, y dan origen a los diferentes astros del sistema (3, 4, 5). El agua original se ha perdido en parte durante la fase de calentamiento y fusión que caracteriza a la primera etapa de la vida del planeta, y que preside su división en capas concéntricas (6). Así, la Tierra está constituida, desde el centro hacia la periferia, por un núcleo sólido (a), un núcleo fluido (b), un manto (c) y una corteza (d). Los océanos, a su vez, por el agua original que quedó en la superficie de la Tierra y la que los volcanes arrojan desde las entrañas de nuestro planeta.

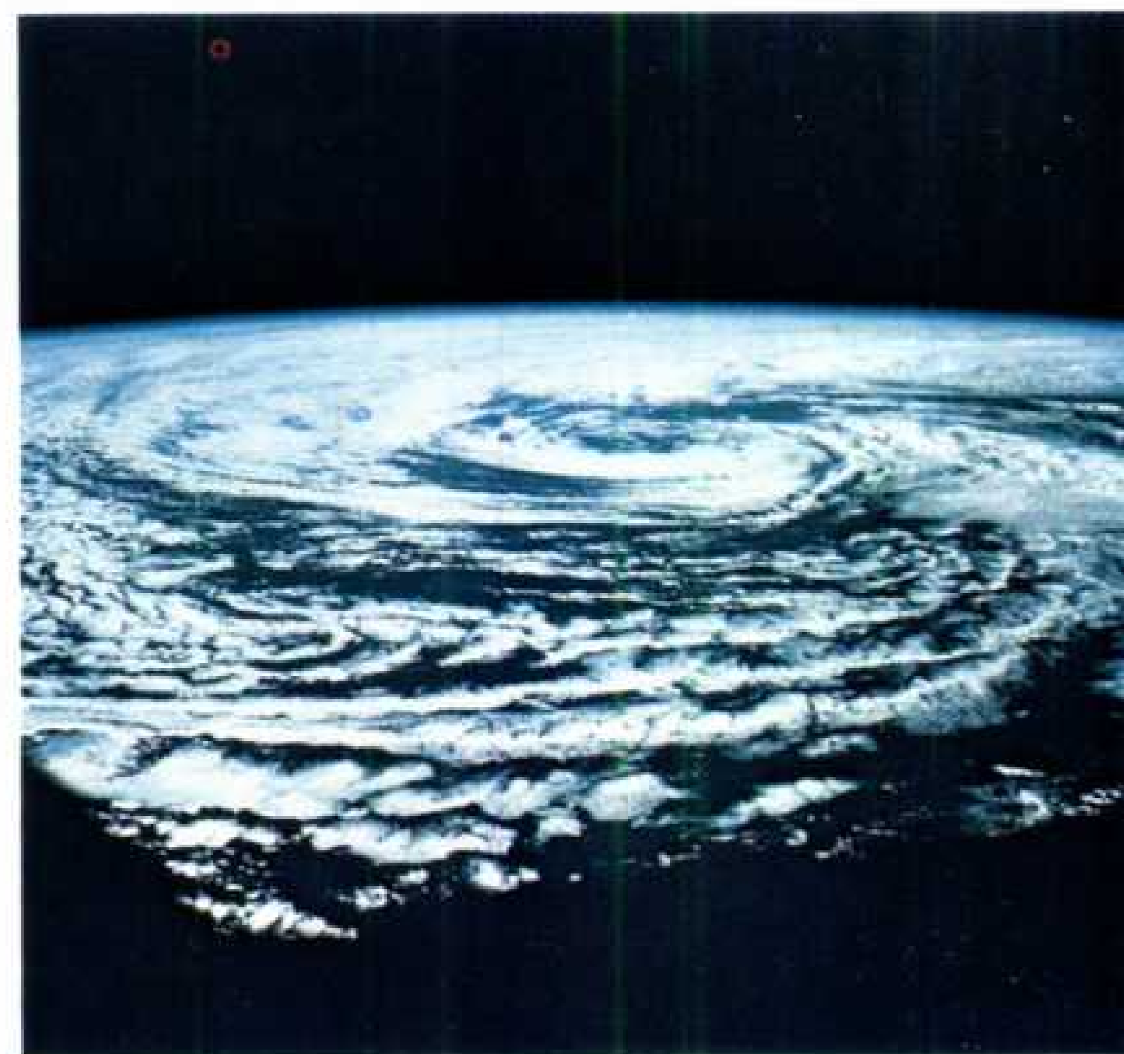


El ciclo del agua

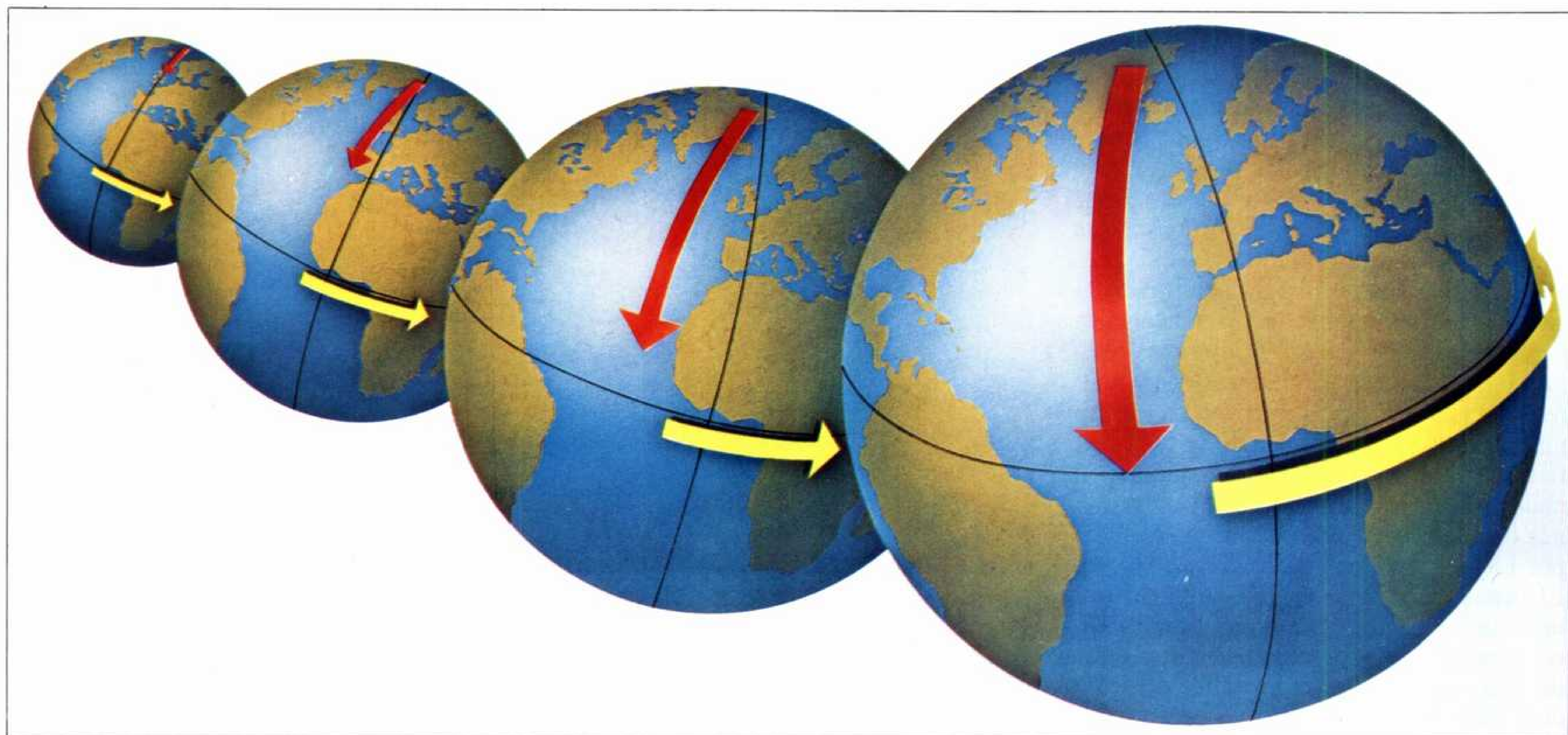
EL Sol está calentando continuamente alguna parte de los continentes y de los océanos. De esta manera provoca una incesante transformación del agua en vapor. Este último, transportado por los vientos, circula por la atmósfera. Cuando se enfría una masa de aire húmedo, el vapor que contiene se condensa en nubes. Las gotitas microscópicas de estas últimas pueden aglutinarse en gotas de mayor tamaño, y precipitarse en forma de lluvia. Durante el invierno, cerca de los polos y también en las grandes alturas, las nubes están constituidas por cristales de hielo, y el agua cae en forma de nieve. Lluvia y nieve terminan alimentando los cursos de agua o, al infiltrarse, las capas subterráneas. Las aguas pueden permanecer por un tiempo en los lagos o en los embalses creados artificialmente por el hombre; pero, más tarde o más temprano, acaban igualmente en el mar. Tales son las grandes etapas del agua.

El *«Eclesiastés»*, libro de la Biblia atribuido al rey Salomón, dice que «todos los ríos van al mar, y el mar jamás se desborda; y los ríos que en él desembocan nunca dejan de correr...». Es éste, tal vez, uno de los primeros testimonios escritos de una observación hidrológica. Pues al hombre le llamó bien pronto la atención el carácter tan acabado de la hidrosfera y su más perfecto equilibrio. La hidrosfera está en perpetuo movimiento. Podríamos compararla a una gigantesca máquina de vapor, en la que los fluidos se mueven por el calor del Sol y la rotación de la Tierra. Esta última crea una fuerza centrífuga que contrarresta la fuerza centrípeta, debida a la atracción gravitatoria. En estos prodigiosos movimientos de aire y de agua juega un gran papel el sentido de rotación de nuestro planeta. Las masas fluidas de la hidrosfera y de la atmósfera tienden a organizarse en remolinos. Observando la Tierra desde el espacio se advierte que éstos se desvían hacia la izquierda en el hemisferio boreal; hacia la derecha, en cambio, en el hemisferio austral. Las turbulentas espirales se organizan, pues, en sentido inverso, según se esté situado al norte o al sur del Ecuador: es lo que se llama el *fenómeno de Coriolis* (por el nombre del ingeniero francés que lo descubrió al estudiar la desviación en la trayectoria de los obuses).

Las aguas terrestres en su totalidad (que se calculan en unos 1.400 millones de km.^{3}) se ven implicadas permanentemente en estos movimientos de turbulencia. De esa cantidad total 150 km.^{3} se presentan en forma de vapor de agua, 29 millones (algo más del 2 por 100) en forma de







hielo, y 10 millones de km.[3] constituyen los ríos, los lagos y las reservas hídricas del subsuelo. Los océanos contienen el restante 97 por 100 de la hidrosfera, esto es, 1.360 millones de km.[3], que, comparando esta cantidad con otra de superficie, suponen las 7/10 partes del área terrestre.

El ciclo del agua. *Ingentes cantidades de agua se elevan incesantemente desde los mares, los ríos y los lagos para alcanzar la atmósfera en forma de vapor. Las bajas presiones o la acción de otros agentes diversos provocan que masas similares de líquido vuelvan a la superficie en forma de lluvia y nieve. La energía calorífica del Sol es el motor que permite estos sucesivos cambios de estado. El dibujo de arriba representa cómo se forman las nubes. Las dos fotografías muestran, arriba, un ciclón tropical y, abajo, un iceberg de los mares polares.*

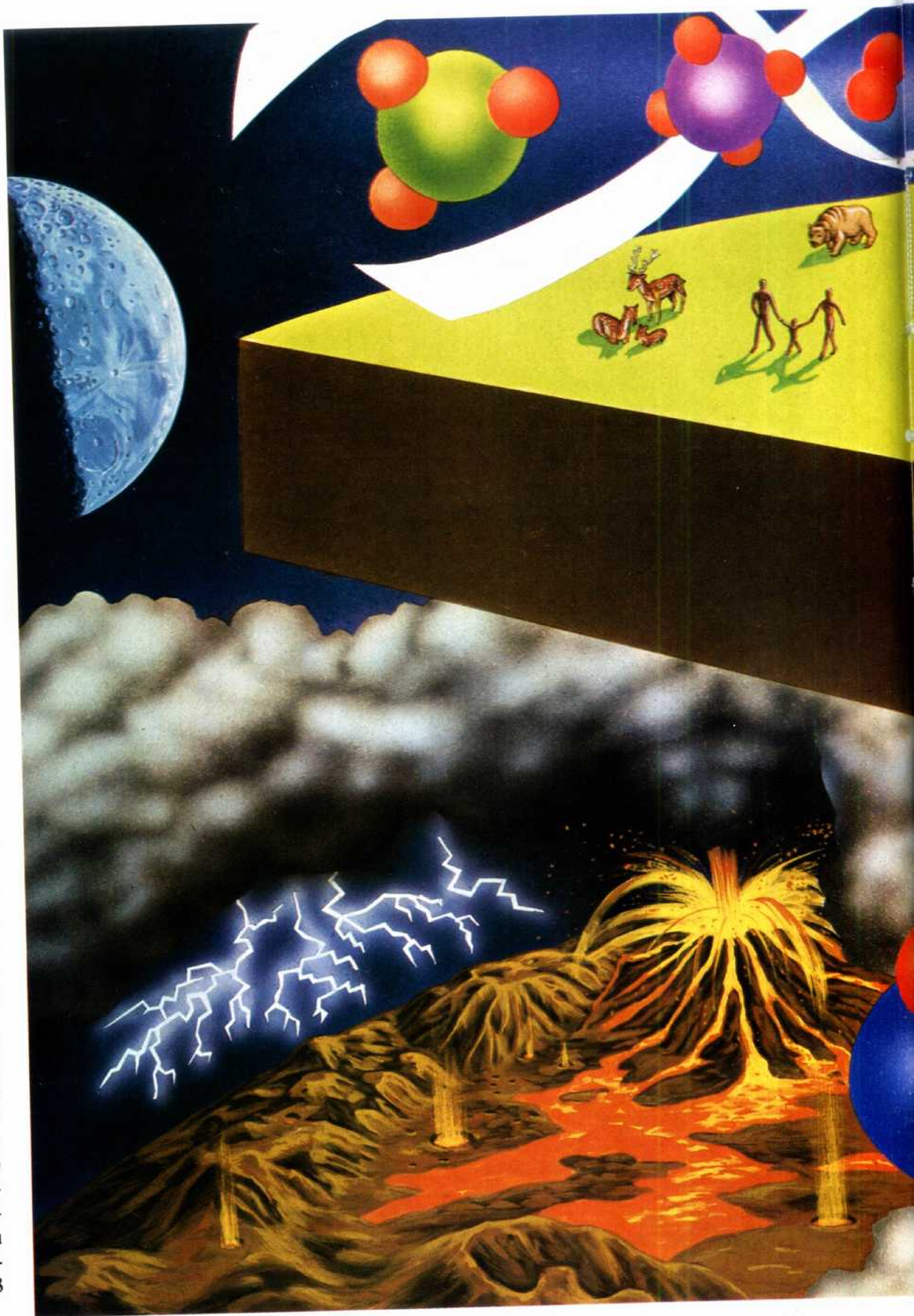
Las fuerzas de Coriolis. *Es un fenómeno físico debido a la rotación de la Tierra (o de otro cuerpo esférico que se mueve) y que empuja hacia el Ecuador los objetos en movimiento.*

La evolución de la vida

Si es cierto que la historia de la Tierra empezó por una serie de colisiones entre partículas frías —algo así como una gigantesca batalla con bolas de nieve—, hay que suponer, necesariamente, que gran cantidad de materiales potencialmente líquidos o gaseosos quedaron encerrados dentro de nuestro planeta. Este último, por su parte, comenzó pronto a calentarse y numerosos volcanes empezaron a vomitar lava, gases y vapor de agua. Todavía no sabemos a ciencia cierta cómo estaban compuestas aquellas primeras efusiones volcánicas, pero contenían, de seguro, grandes cantidades de metano (CH_4), amoniaco (NH_3) y anhídrido carbónico (CO_2). Recién constituida, la atmósfera terrestre primitiva era anóxica, es decir, carecía prácticamente de oxígeno molecular. El único oxígeno existente era el que constituía el agua, el gas carbónico y el polvo de las rocas (especialmente las silíceas).

Los geofísicos han trazado las grandes líneas de la historia de la Tierra desde su nacimiento, hace unos 4.600 millones de años. De los primeros mil millones de años de nuestro planeta apenas sabemos nada. Los primeros rastros de vida se han encontrado en rocas que poseen 3.600 millones de años de antigüedad. Se trata de «objetos» cuya constitución recuerda a la de una célula. Inmediatamente después aparecen los estromatolitos, especie de algas primitivas que se fueron depositando en estratos sucesivos y que se encuentran en todos los continentes. Evidentemente, tales capas de algas hubieron de acumularse sobre antiguos litorales marinos o en el fondo de lagos hoy cegados.

Desde el punto de vista geoquímico, las plantas cobraron una importancia preponderante en la atmósfera primitiva. Al efectuar la fotosíntesis de sus azúcares, a partir del gas carbónico y del agua, liberaron fantásticas cantidades de oxígeno residual. Al principio, este gas se combinó con los materiales rocosos de la superficie del globo. Pero, poco a poco, su abundancia fue excesiva: tras 600 millones de años, la atmósfera contenía un 2-3 por 100 de lo que hoy día encierra.



El océano primitivo estaba cubierto por una atmósfera abundante en gas carbónico. Este último, al combinarse con el agua de mar, resulta un ácido débil, el ácido carbónico (H_2CO_3), que no por eso deja de atacar las rocas y enriquece el océano con sales minerales. Los volcanes, por su parte, continúan aportando grandes masas de aguas jóvenes, de amoniaco y diversos ácidos.

Poco a poco, el agua de mar deja de experimentar la influencia ácida de la atmósfera. Se vuelve neutra y luego alcalina. Los animales comenzaron a desarrollarse en el agua. Hace unos 600 millones de años, algunos experimentaron una transformación fundamental. El medio alcalino en que se encontraban impedía su secreción calcárea: por esta razón, unos se recubrieron con una concha de carbonato de calcio (los moluscos), y otros con un caparazón incrustado de cristales de este mismo compuesto (los crustáceos).

Por aquel tiempo, también la actividad fotosintética de las plantas aportaba a la atmósfera ingentes cantidades de oxígeno. Los océanos iban adquiriendo la composición química actual. Y aparecen los primeros cordados, que dieron lugar a peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. En cada etapa de la evolución, los nuevos organismos se desarrollaron a partir del perfeccionamiento de las formas de vida que les precedieron; modificaciones que les permitieron adaptarse a nuevos *habitats*. La evolución de los animales y plantas permitió la especialización de estas familias, que finalizaría con la conquista de los ámbitos del planeta.

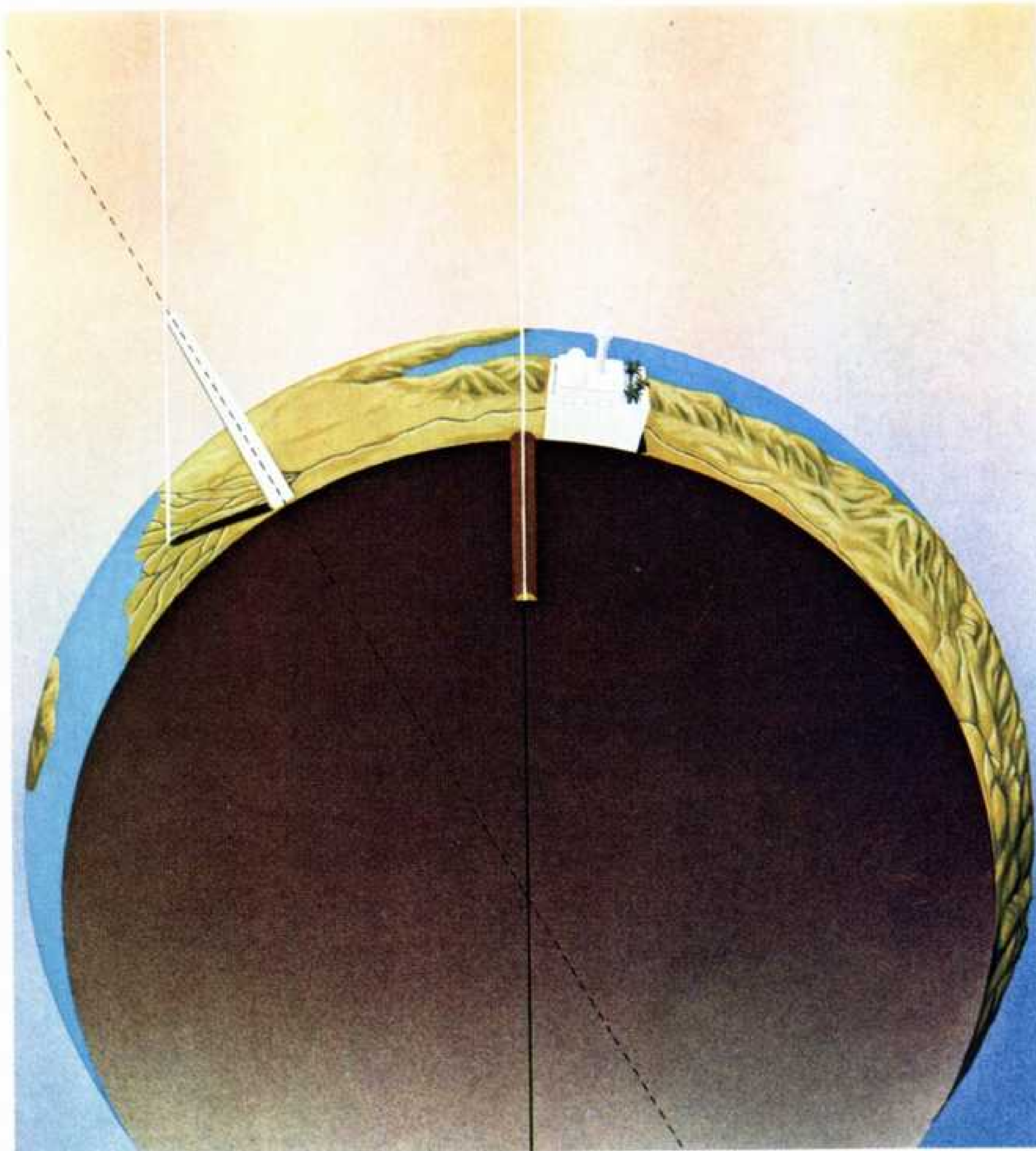


De lo más simple a lo más complejo. *La atmósfera primitiva de la Tierra era abundante en agua, amoniaco, metano e hidrógeno. A partir de estas sustancias simples, de la energía de las tormentas, de los volcanes (ilustración de al lado) y las radiaciones solares, poco a poco se fueron formando compuestos orgánicos. En este «caldo de cultivo» oceánico fue donde aparecieron las primeras células vivas. Más adelante, la vida se diferenció en infinidad de formas, conquistando la tierra firme y la atmósfera. Y acabó por cubrir la totalidad del planeta con una delgada capa activa, la biosfera.*

La forma de la Tierra

DURANTE mucho tiempo, los hombres pensaron que la Tierra era plana. No obstante, los habitantes de la orilla del mar y los navegantes pronto observaron que, a medida que los barcos iban adentrándose en el mar, parecía que se hundían entre las olas. Esto, unido al conocimiento que entonces se tenía de la forma de los cuerpos celestes (especialmente de la Luna), debió de sugerir, ya hace mucho tiempo, a las mentes más despiertas que la Tierra era esférica.

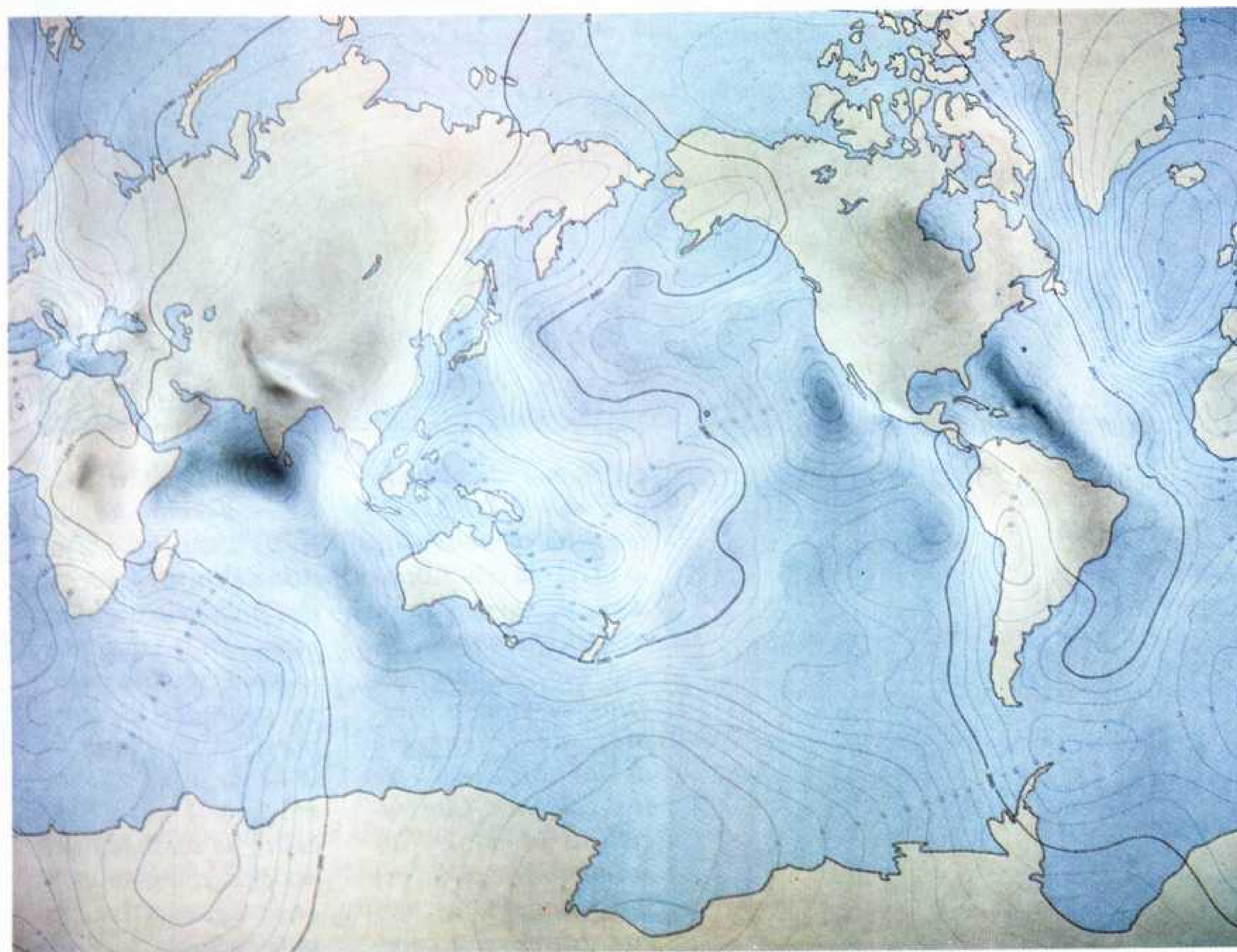
Los primeros intentos para determinar las dimensiones exactas del globo terráqueo datan de muy antiguo. El siciliano Dicearco, por ejemplo, descubrió que la circunferencia de nuestro planeta alcanza los 47.000 kilómetros, cosa que se acerca bastante a la realidad. Pero fue el griego Eratóstenes (hacia el 284-192 a. de C.) quien aportó el más elegante de los métodos para medir el radio terrestre. Este sabio advirtió que, en el solsticio de verano, el Sol llegaba con sus rayos hasta el fondo de los pozos de la ciudad egipcia de Siene (cerca de la actual Asuán); mientras que en las mismas fechas, pero en Alejandría, más al norte, los rayos solares incidían en un ángulo de 7° 12' con la vertical. Por una simple relación geométrica determinó que tenía idéntico valor el ángulo en el centro trazado por el arco de circunferencia terrestre Siene-Alejandría. Sabiendo la distancia entre ambas ciudades (5.000 estadios, esto es, 787,5 kilómetros), dedujo fácilmente la circunferencia total de la Tierra. Y encontró que era de 39.375 kilómetros, lo que se acerca notablemente a la verdad.

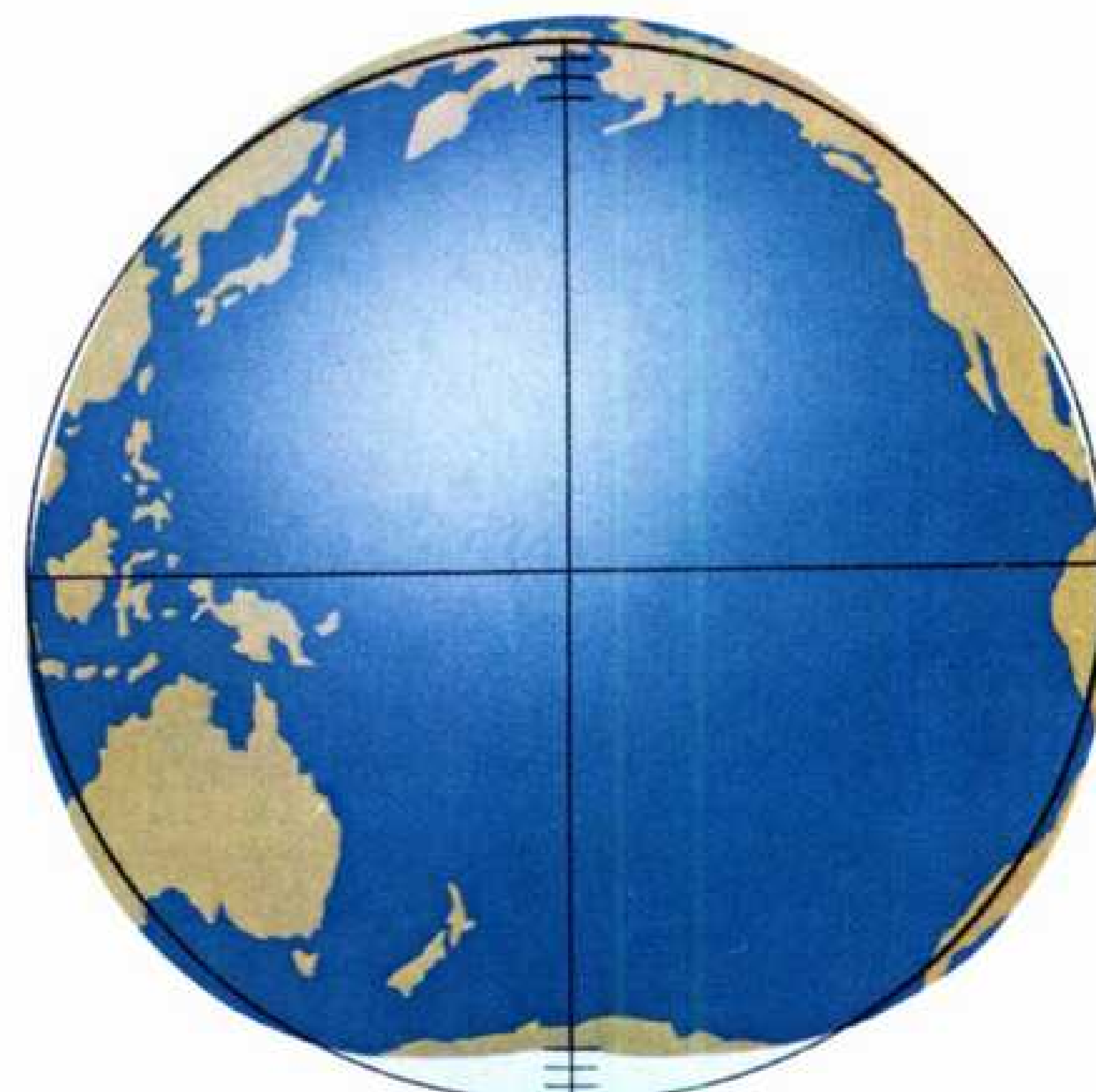


De la esfera al geoide. *La precisión en los métodos de medición ha determinado, en cada época, la imagen que el hombre se hace del planeta. Los sabios de la antigüedad ya sabían que la Tierra era esférica (al lado, un esquema que resume la forma en que Eratóstenes calculó la circunferencia del globo en el siglo III antes de nuestra era). En el siglo XVIII se llegó a la conclusión de que la Tierra era un elipsoide de revolución. En la actualidad se sabe que la forma exacta de nuestro planeta es bastante más complicada de lo que hasta ahora se pensaba. De esta manera surgió la noción de geoide.*

Mucho más difícil resulta determinar la forma *exacta* de nuestro planeta. Este no es perfectamente esférico, dado que no es rígido y está girando de continuo. Achatado por los polos, el radio polar mide 6.356 kilómetros, mientras que el radio ecuatorial tiene 6.378 kilómetros. Podría decirse, de manera un tanto sumaria, que es un elipsoide de revolución. Los geofísicos lo llaman geoide. Pero este geoide, que debería coincidir con la superficie media de los océanos, se diferencia del geoide ideal debido a la heterogénea distribución de las pesadas masas existentes bajo la superficie de los continentes y los mares. Debido a esta diferencia de densidades, el geoide ideal y el terrestre no se pueden superponer.

En el transcurso de los años se ha ido precisando la forma de la Tierra gracias, sobre todo, a las mediciones y fotografías tomadas por los satélites artificiales. La necesidad de calcular con absoluta preci-





Por medio de satélites. *Hoy día se calculan las dimensiones exactas de nuestro planeta sirviéndose de los satélites artificiales enviados al espacio (en la página siguiente, el* Echo II*). Para ello se utilizan fundamentalmente las gráficas de las variaciones locales del campo gravitatorio (mapa de la izquierda) y se comparan los datos obtenidos con los que serían de esperar si la Tierra fuera un elipsoide perfecto.*



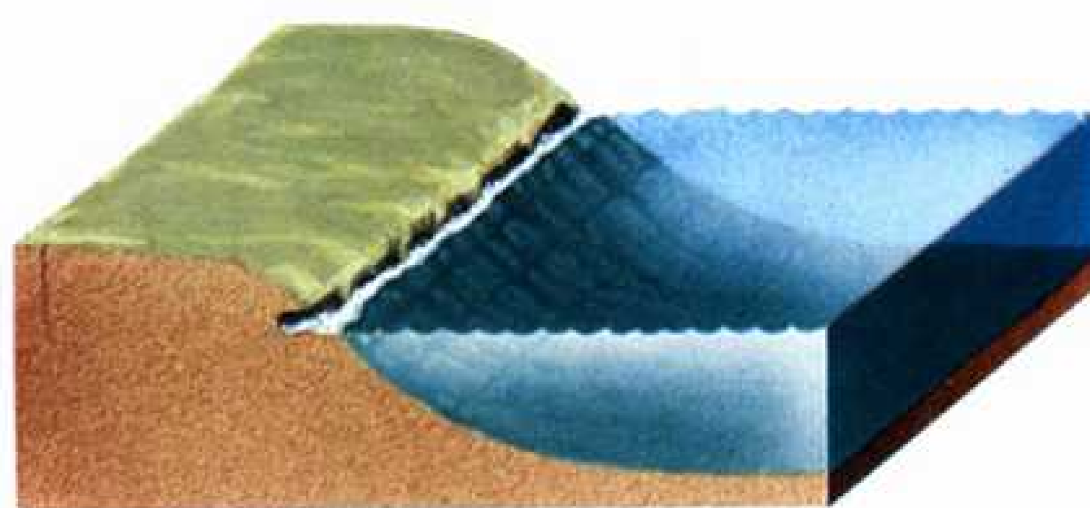
sión la trayectoria de estos satélites permitió trazar mapas de las numerosas e importantes anomalías gravitatorias del globo.
Por lo demás, se está tratando de determinar cómo se encuentran distribuidas las masas rocosas bajo los mares y los continentes. Y se ha advertido que esta distribución es muy dispar. Es como si las masas continentales «flotaran» sobre un zócalo que sirve de suelo igualmente a los océanos. Los materiales de la corteza continental son más ligeros y antiguos que los de la corteza oceánica, que son particularmente recientes cerca de las grandes dorsales volcánicas. La capa más ligera de la corteza recibe el nombre de «sial», al estar compuesta principalmente de silicio y aluminio. En un estrato inferior, que en muchas ocasiones coincide con los fondos oceánicos, existe otra capa de mayor densidad llamada «sima», ya que sus principales elementos constitutivos son el silicio y el magnesio.

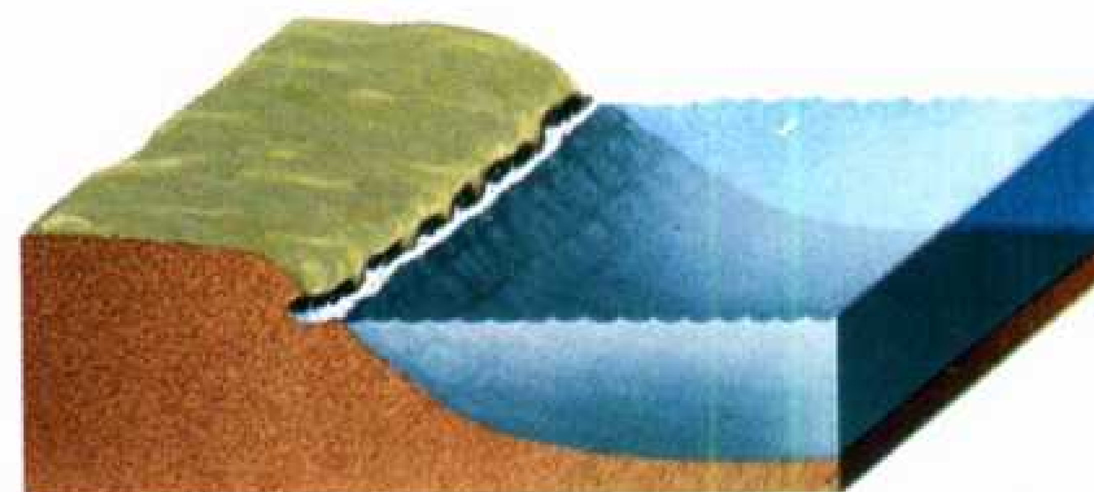
El nivel del mar

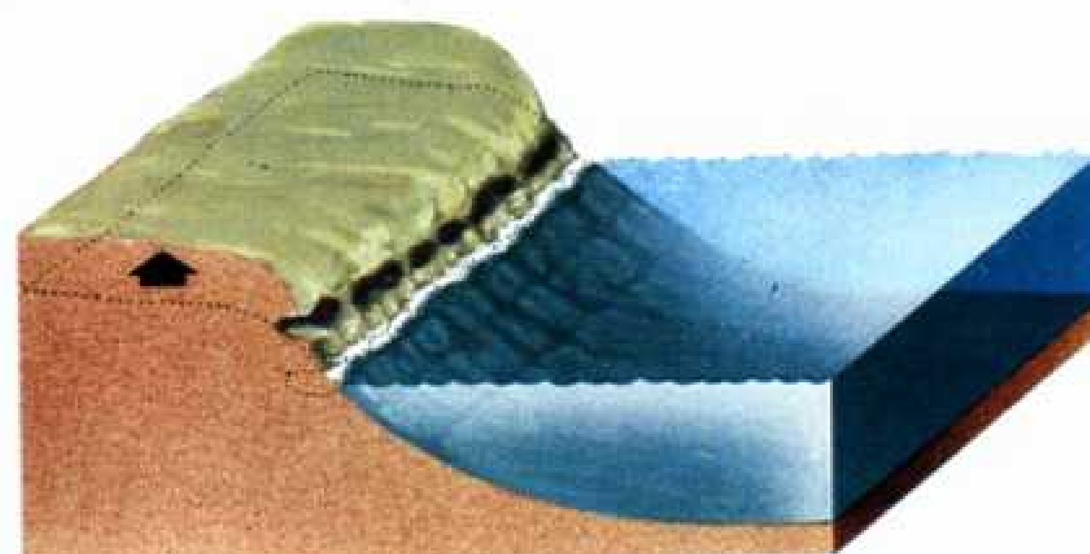
El misterio de las eras glaciares quedó definitivamente aclarado en el transcurso de los años 1830-1840. Se comprobó entonces que las enormes cantidades de agua acumuladas en otro tiempo sobre los continentes no podían proceder sino del mar. En otras palabras, el nivel del mar tuvo que ser más bajo durante los periodos de frío, volviendo a subir en las interglaciaciones. Naturalmente, se trató de conocer el volumen de hielo implicado en cada proceso glaciar, y se encontró que era de unos 40 millones de Km^3. Lo que quiere decir que en el punto culminante del avance de los hielos el nivel de los océanos se encontraba más de 100 metros por debajo de lo «normal». En el curso de la última glaciación, hace unos 17.000 años, el mar estaba 160 metros por debajo de su nivel actual... Los dragados llevados a cabo en las plataformas continentales han puesto de relieve que a estas profundidades se encuentran vestigios de animales marinos que vivían habitualmente en la franja litoral.

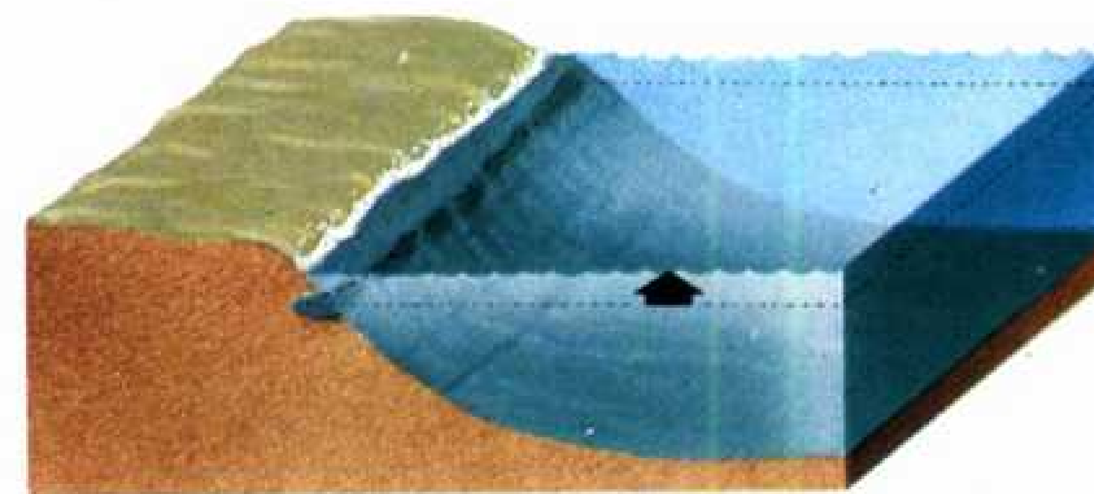
Consultando las tablas de altura de las mareas —disponibles en todos los grandes puertos del mundo— se comprueba que, en nuestros días, el nivel medio de los mares se eleva un milímetro al año. Este aumento del volumen de los océanos corresponde a la fusión de unos 400.000 millones de $m.^3$ de hielo. Parece que la principal zona de regresión glacial se sitúa en la parte occidental de la Antártida.

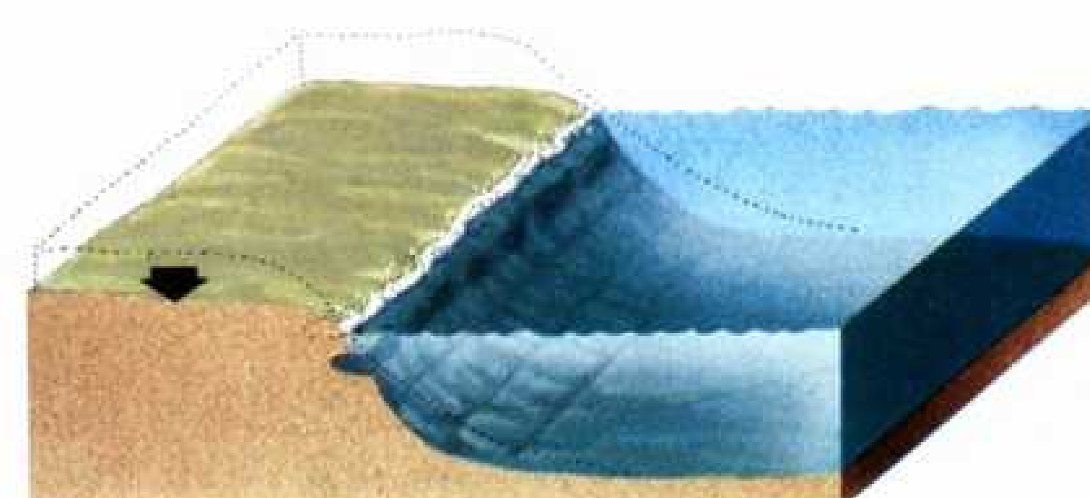
Sin embargo, incluso durante los periodos interglaciares, puede cambiar considerablemente el nivel de los océanos. En 1886, el geólogo austriaco Edward Suess adelantó la hipótesis de que, en cierta época, el nivel del Mediterráneo debió subir varios cientos de metros, y sus aguas anegaron toda una parte de Europa central. Encontró, en efecto, rastros de antiguos acantilados y de litorales marinos cerca de Baviera y de Viena. Este investigador supuso que semejante subida del mar podía haberse producido al acumularse sedimentos fluviales en los fondos oceánicos y que, por el contrario, la disminución de la altura del mar podía deberse al asentamiento de estos residuos, es decir, a su hundimiento en el basamento de los océanos. Y llamó «eustáticas» a las fluctuaciones del nivel del

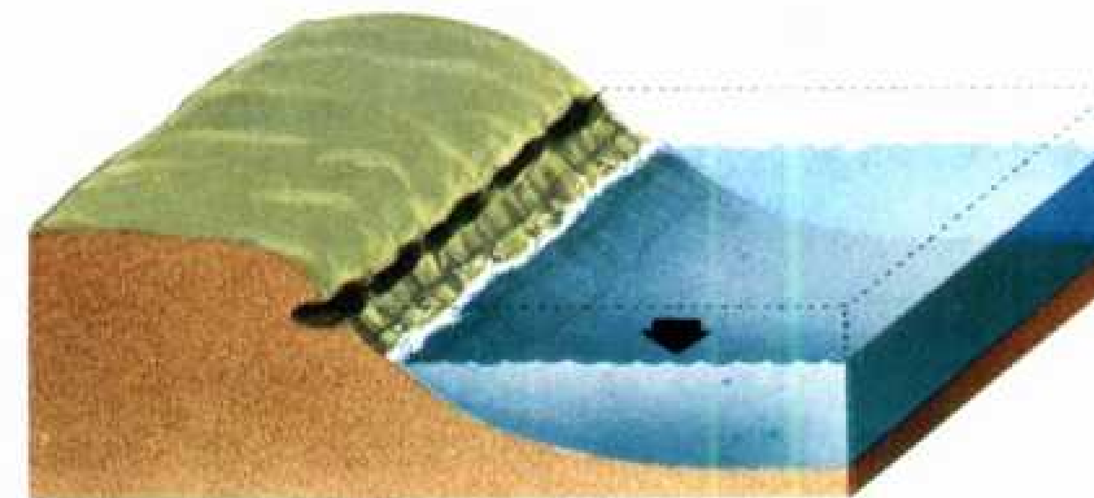












mar que no poseían ningún tipo de relación con los fenómenos glaciares.

Compete a un berlinés, el profesor Helmut Valentin, el mérito de haber precisado más estos temas. Valentin propuso llamar «glacio-eustatismo» a las variaciones del nivel del mar debidas a los fenómenos glaciares, y «sedimento-eustatismo» a las provocadas por el relleno de los fondos oceánicos. Mientras que «tecto-eustatismo» serían algunas otras modificaciones del nivel, imputables a movimientos profundos de la corteza terrestre. El «glacio-eustatismo» va acompañado de un cambio en el volumen global de las aguas marinas; volumen que, en el transcurso de ambos fenómenos, permanece constante.

El descubrimiento, en estos últimos veinte años, de la expansión de ciertos fondos marinos, y el perfeccionamiento de la teoría de la tectónica de placas, ha hecho avanzar los conocimientos sobre el «tecto-eustatismo». Al observar, en una determinada región del océano, una rápida expansión de los fondos se comprueba también que surge un potente flujo de calor procedente del corazón mismo del globo terráqueo. La corteza oceánica se calienta, se dilata y, por consiguiente, sube el nivel del mar. Cuando se frena la expansión del fondo marino, la corteza oceánica se enfría, se contrae, y el nivel del mar desciende.

Así, se ha podido determinar que durante el cretáceo medio (hace unos 85 millones de años) se produjo una brutal aceleración en el ritmo de expansión de los fondos marinos; éstos se elevaron diez veces más rápido de lo que lo hacen en la actualidad, y las aguas del mar subieron 300 metros por encima del nivel actual. Este acontecimiento tuvo importantes repercusiones en toda la Tierra. Así, por ejemplo, el mar cretáceo sumergió las tierras bajas y dejó aislados por lo menos unos 30 minicontinentes, en lugar de los seis actuales (América del norte, América del sur, Eurasia, Africa, Oceanía y la Antártida). Se pueden imaginar las consecuencias acaecidas en la fauna y la flora terrestres. La población de sinosaurios disminuyó a la mitad, significando esto el principio del fin para estos reptiles. Los efectos del eustatismo tienen consecuencias importantes en los organismos marinos del litoral y de la plataforma continental.

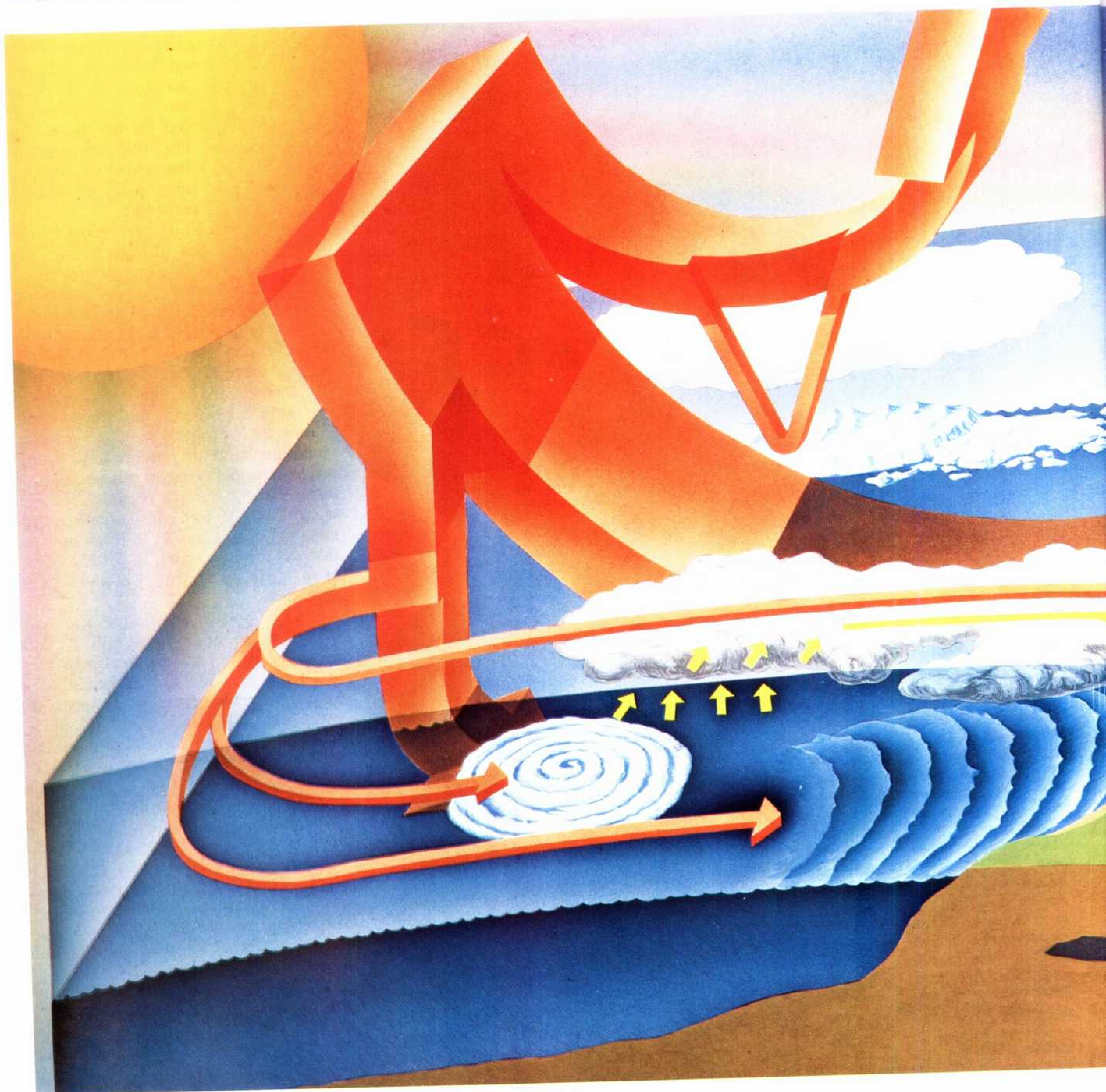


***El nivel del mar.** Son muchos los factores que tienden a modificarlo: la cantidad de agua en estado líquido varía con el clima general de la Tierra; los fondos oceánicos se colman de sedimentos, o se ven sacudidos por movimientos tectónicos de elevación o contracción. En los dibujos de arriba se comparan los casquetes polares actuales (línea en negro) con los que existían hace 15.000 años. Si se fundieran los casquetes polares, el nivel medio de los mares subiría 100 metros por lo menos. Los esquemas de la página anterior ponen de relieve las dos formas de cómo varía el nivel del mar: bien porque la costa se levanta o se baja (columna de la izquierda), bien porque se modifica la cantidad total de agua (columna de la derecha). La fotografía (aquí, a la derecha) muestra las columnas del templo de Júpiter en Pozzuoli: un edificio que estuvo sumergido durante mucho tiempo, como ponen de manifiesto los agujeros hechos en la piedra por los litódomos (moluscos perforadores), y luego emergió nuevamente.*

El ciclo de la energía

La hidrosfera desempeña un papel fundamental en el sistema energético de la Tierra. El calor que el Sol envía sobre nuestro planeta es captado por los mares que, a su vez, lo pierden poco a poco, especialmente en las zonas polares. Por efecto de las radiaciones caloríficas, los océanos se calientan y se forma una capa de agua de algunos centenares de metros de espesor; mientras que, por debajo de los 1000 metros, las aguas se mantienen frías constantemente.
Por la noche, el océano —que se comporta como un gigantesco acumulador de calor— devuelve a la tierra firme y a la atmósfera las calorías que fue acumulando durante el día, moderando así el conjunto de los climas terrestres. La energía que almacena y luego distribuye es limpia, renovable y gratuita. La irradiación calorífica del Sol provoca la evaporación de una parte del agua de los océanos. Cuando el vapor de agua se condensa restituye al aire las calorías que contiene, contribuyendo así al recalentamiento de la atmósfera. El océano, por

El equilibrio energético de la Tierra. *Las radiaciones solares representan el 99,98 por 100 de toda la energía que llega a la superficie de la Tierra. El resto procede de la energía térmica producida por la radiactividad, que se propaga desde el corazón del globo hacia la periferia por conducción, especialmente a través de los volcanes y las fuentes termales. Alrededor del 30 por 100 de las radiaciones solares regresan al espacio atravesando la atmósfera, los continentes y los océanos, que lo almacenan en forma de calor. El 23 por*



100 asegura los movimientos del ciclo del agua, esto es, los procesos de evaporación, condensación y precipitación. Pequeñas cantidades de energía dan origen a la circulación oceánica y al oleaje. Una ínfima parte es captada por la clorofila y utilizada por las plantas en los procesos de fotosíntesis. Una fracción de esta energía absorbida permanece oculta en los depósitos fosiles de combustibles. Toda la energía de radiación solar, finalmente, es transformada en calor, perdiéndose en el espacio en forma de rayos infrarrojos.

su lado, transporta buena parte de la energía solar que recibe. Sus corrientes cálidas de superficie pierden calorías en los mares polares. En éstos, por el contrario, surgen corrientes frías profundas, que emergen en los trópicos, en las zonas de *upwellings,* que es donde dichas corrientes remontan. En realidad, el océano constituye la gran reserva térmica de la Tierra.

Pero existe también otra fuente de energía de este tipo: la que procede del corazón mismo del planeta. Basta observar una erupción volcánica, o asomarse simplemente a una solfatara, para darse cuenta de las ingentes cantidades de calor que nuestro globo encierra. El calor aumenta en 1° C por cada 30 metros que profundizamos en el suelo: es lo que se llama «gradación (o «gradiente») geotérmica». Sin embargo, los órdenes de magnitudes no son equiparables: el océano recibe 10.000 veces más cantidad de calor del Sol que la que obtiene de las radiaciones procedentes de las capas interiores del planeta.



El viento solar. *Además de grandes cantidades de calor y rayos luminosos, el Sol difunde en el espacio flujos de partículas cuya acción afecta a todos los planetas del sistema. Tales partículas resultan mortales para la mayoría de los seres vivos. Afortunadamente, la Tierra está rodeada de un campo magnético que captura la mayoría. El esquema de al lado pone de manifiesto la forma en que la magnetosfera terrestre es «comprimida» por el viento solar en el lado de donde viene el viento, mientras que al otro lado se ensancha en miles de kilómetros. Cuando se produce un flujo de tales partículas se ionizan las altas capas de la atmósfera y tiene lugar una aurora polar que recibe el nombre de austral o boreal según el lugar donde se produzca (las fotografías de abajo).*

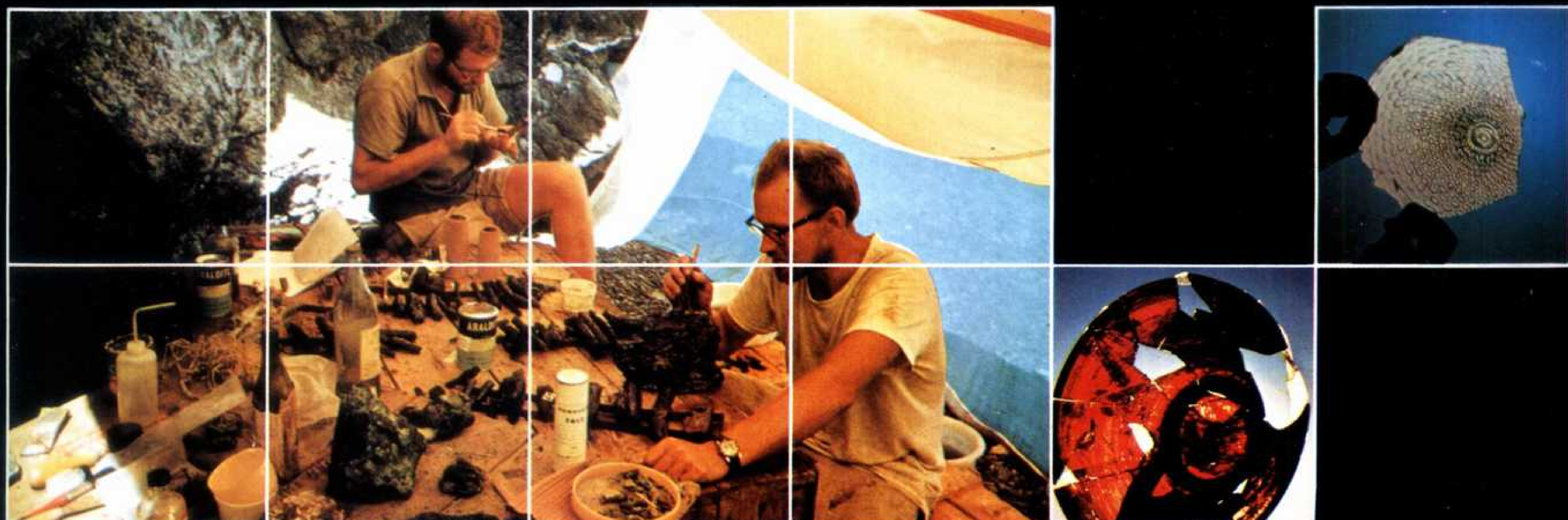




La energía solar nos llega en forma de radiaciones (caloríficas, luminosas, ultravioletas, etc.), o de partículas (viento solar, rayos cósmicos). Las primeras influyen sobre todo en el clima. Las segundas revisten gran importancia en relación con el magnetismo terrestre. La intensidad del viento solar, que depende de las gigantescas erupciones que se producen en nuestra estrella, varía según un ciclo de once años: los periodos de crisis solares se traducen en cambios electromagnéticos y climáticos observables en la Tierra. A veces se producen otros tipos de crisis astronómicas: cuando, por ejemplo, los principales planetas del sistema solar se alinean todos del mismo lado del Sol. Esto ocurre cada 179 años, aunque sus efectos son imperceptibles.

Y es entonces, más que nunca, cuando en estos periodos difíciles incumbe al océano moderar los rigores del clima. Capaz de almacenar considerables cantidades de energía, se comporta como un insustituible regulador de calor.

Pero a veces no puede con toda la tarea. Y si no es capaz de restituir el calor suficiente a los continentes y a la atmósfera en un periodo de carencia general puede sobrevenir una era glaciar. El agua que se acumula en los polos aumenta el poder reflectante (el *albedo*) de la Tierra, lo que da lugar a una disminución de la absorción de radiaciones, acelerando el enfriamiento. Entonces entran en acción otros factores que impiden que el fenómeno aumente. Existen unos ciclos planetarios de cerca de 100.000 años, con tendencia alterna al enfriamiento y calentamiento, que ayudan a mantener un equilibrio. Así, las variaciones térmicas globales en la Tierra son leves.





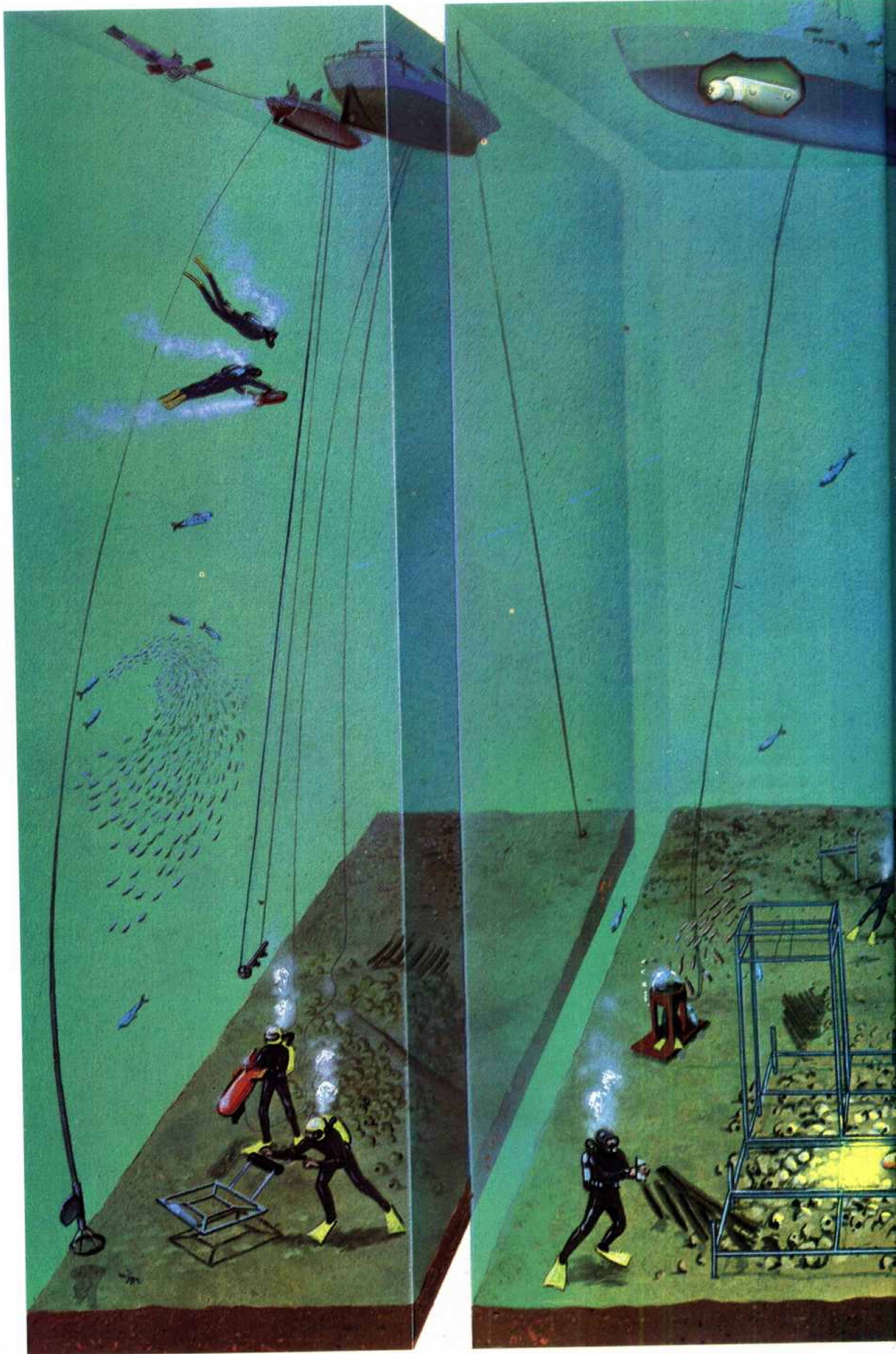
La arqueología submarina

Las técnicas

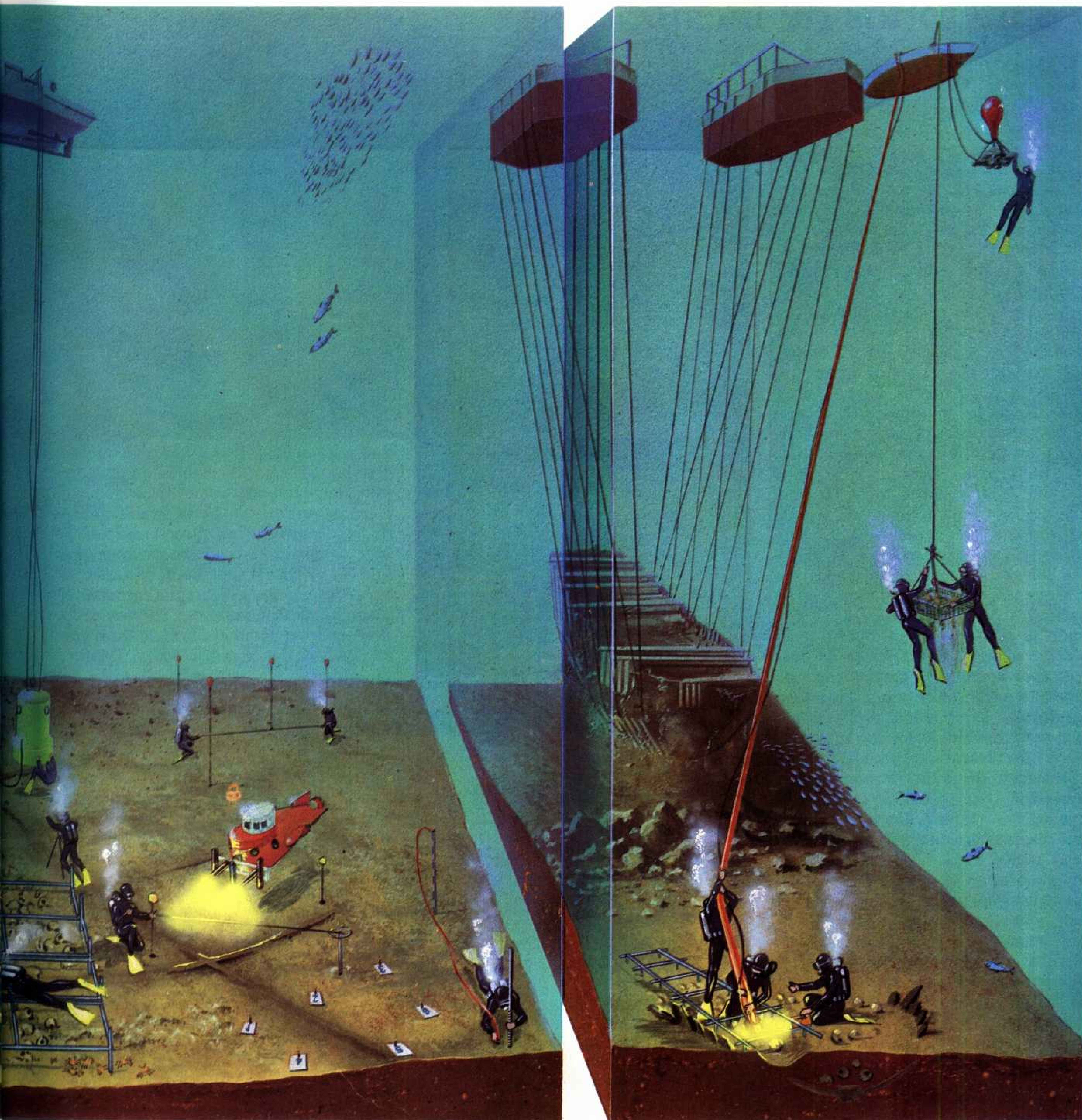
Los arqueólogos submarinos son científicos. Buscan en los sedimentos los mismos vestigios de templos, ciudades, casas, herramientas del pasado, que sus colegas que trabajaban en tierra firme. Emplean los mismos métodos fundamentales, y operan con la misma mentalidad. Es evidente, sin embargo, que las condiciones de excavación al aire libre y las que imperan a varios metros bajo la superficie del agua son notablemente diferentes. A veces, el medio acuático ofrece más ventajas: así, en las aguas dulces, los restos orgánicos de tejidos, de madera o de cuero están mejor conservados que en tierra firme, excepto en los suelos nórdicos helados o en los desiertos áridos. Incluso en ciertos mares cálidos, donde proliferan los organismos descomponedores o perforadores (como las bromas o teredos), ocurre a veces que los restos arqueológicos han quedado sepultados rápidamente bajo una capa protectora de arena o de cieno. Cuando esto se produce, podemos toparnos con auténticas maravillas, estatuas griegas de mármol, estatuillas rituales de los mayas o juegos de ajedrez árabes de la Edad Media esculpidos en madera. Se han sacado, en efecto, objetos semejantes de un manantial italiano, de un cenote sagrado de Guatemala y de un barco árabe frente a las costas turcas.

Una de las ventajas del agua es que pone fuera del alcance de los saqueadores ciertos tesoros. Con el paso de los siglos, se han ido sucediendo las civilizaciones; y a menudo ha ocurrido que los conquistadores recuperaran el bronce de antiguas esculturas para fundirlo nuevamente, o joyas para montarlas sobre nuevos soportes, sin hablar de los mármoles antiguos utilizados para construir nuevos templos, y del oro fundido para acuñar moneda. En las profundidades del mar, en cambio, magníficas piezas arqueológicas han sido preservadas de esta especie de vandalismo, y ello explica, por ejemplo, que buena parte de los más bellos mármoles y bronces de la Grecia antigua procedan precisamente del fondo del mar.

Los pecios —o restos de barcos hundidos— se cuentan entre los sitios arqueológicos más fecundos y ricos en hallazgos. Su cargamento constituye a veces una especie de muestrario resumido de las herramientas, vituallas, objetos de arte y de la cultura de la época a que pertenecen. Representan una «rebanada» de tiempo. Cierto que muchos de ellos se encuentran en un estado deplorable, y desde este punto de vista el agua puede perjudicar grandemente. Pero utilizando diversos indicios (inscripciones, monedas, tipos de alfarería encontrados) y aplicando las téc-



Las tres fases de la arqueología submarina. *La primera etapa es la de la búsqueda y localización de los restos hundidos. Cuando hay buena visibilidad, y no es mucha la profundidad, de la localización se encarga un buceador libre (1), que puede ser arrastrado por una embarcación (2), o utilizar un scooter submarino (3). Pero cuando la profundidad es importante, se debe recurrir a cámaras de televisión subacuáticas (4) y a teledetectores por sonar (5). Si el pecio está enterrado en el sedimento, se le puede localizar mediante detectores de metales (6) o magnetómetros (7). La segunda fase es la de la excavación. Los arqueólogos descienden en campana abierta (8) o en torreta de buceo (9), estando estos aparatos conectados a un compresor (10) en el barco de acompañamiento. Las técnicas más utilizadas para excavar comportan una cuadrícula dividida en cuadrados (11), el levantamiento telemétrico (12, 13, 14) con un punto de referencia (15). La tercera fase, la de extracción de los objetos sepultados, recurre con frecuencia al empleo de una chupona (16). Una vez catalogadas en el lugar mismo, las piezas son subidas a la superficie en cestas (17) o atadas a globos (18). Cuando se quiere recuperar todo el pecio, hay que instalar un pontón de trabajo completo (19).*



nicas modernas de datación, se logra en general situar bastante bien estos restos en el tiempo. Cuando el yacimiento es rico y está bien conservado, los arqueólogos subacuáticos estudian minuciosamente la disposición del lugar, la forma en que están situados los objetos, su abundancia, su importancia relativa, etc.

El arqueólogo submarino tiene exactamente la misma formación universitaria, teórica y práctica, que el que opera al aire libre. Simplemente, lo que necesita es dominar las técnicas de inmersión con todas sus variantes. Como el arqueólogo terrestre, el subacuático se dedica a una búsqueda minuciosa antes de iniciar sus excavaciones. Al igual que su colega, busca indicios en inscripciones y antiguos manuscritos, y luego interroga en el lugar a los paisanos. Así, el arqueólogo submarino empieza por ser un ratón de biblioteca; pregunta a los marinos, a los buzos, a los habitantes de las orillas que a menudo han oído hablar de antiguos naufragios y saben con precisión qué es lo que pasó. Todos estos detalles no hacen perder el tiempo, sino que, por el contrario, permiten ganarlo.

Aparte de las analogías y las diferencias entre la arqueología terrestre y la subacuática, hay que hacer notar un hecho esencial: los océanos cubren las tres cuartas partes de la superficie de la Tierra, y encierran buena porción de las riquezas producidas por el hombre... Probablemente siempre se hará arqueología submarina sólo en los fondos de la plataforma continental; pero los tesoros del pasado que allí yacen, a menos de 200 metros de profundidad, se cuentan entre los más hermosos y más apasionantes que encontrarse puedan en cualquier otra parte.

Los métodos de localización

«EXCAVEN aquí!», me dice Mehmet Ashkin. El modesto y tranquilo pescador de esponjas indica un punto en el azur del mar de Turquía, cerca de Serce Liman. «Aquí es —añade— donde mis amigos han encontrado cristales.» Después de investigar, los arqueólogos submarinos que me acompañan localizan perfectamente los restos del pecio del que habla Mehmet: se trata de un simple puñado de cristales rotos, desparramados por el fondo de arena. Pero estos modestos indicios bastan a los científicos, que no tardarán en localizar todo el pecio, descombrándolo y sacando de él los trozos de cristal y otros objetos árabes que datan de la Edad Media. Este episodio ilustra uno de los métodos más eficaces para encontrar restos de naufragios: interrogar a los pescadores de esponjas o de coral. Ellos pasan toda su vida en el fondo del agua: conocen todas las anomalías del substrato, y tienen un sentido extraordinario del descubrimiento subacuático. En el Mediterráneo, la mayoría de los grandes pecios excavados por los arqueólogos profesionales fueron descubiertos por los pescadores.

Cuando se sabe que en un puerto o en una bahía debe de haber restos de naufragios (por ejemplo, a consecuencia de una batalla naval, etc.), y que los pescadores locales no pueden proporcionar ningún dato, hay que recurrir a otras técnicas de localización, especialmente de localización a distancia (levantamientos teledirigidos, o teledetección). Para ello se cuenta con aparatos electrónicos. Estos resultan sumamente valiosos en aguas turbias, donde apenas hay visibilidad, y los buceadores no se pueden fiar siquiera de los realces del fondo para sospechar la presencia de un barco sepultado. Los diversos sonares, la televisión automática submarina y los detectores de metales (especialmente magnetómetros) figuran entre los instrumentos más utilizados.

El sonar emite ondas sonoras y recibe su eco. Según el tiempo que tarda el eco en regresar, y conociendo la velocidad del sonido en el agua, es fácil deducir la distancia del obstáculo. Los receptores de sonar están graduados de manera que dan directamente esta distancia. El ecosondeo sirvió primeramente para determinar la profundidad del suelo del mar bajo los barcos, y para detectar la presencia de bancos de peces. Desde hace unos años, el sonar se ha perfeccionado, y los datos que proporciona son de una calidad sorprendente. El sonar de barrido lateral, en particular, inventado por el doctor Harold E. Edgerton, un fiel amigo del equipo del *Calypso*, permite poner de relieve el menor abultamiento del fondo del mar en una franja de 200 a 250 metros alrededor del detector, que se arrastra entre dos aguas. (Esta especie de torpedo pintado de amarillo subido lo bautizamos familiarmente como «pez».)

El sonar de barrido lateral ha sido utilizado especialmente en Grecia durante la gran campaña de arqueología submarina que el equipo del *Calypso* llevó a cabo en 1976-1977, y que le permitió encontrar el pecio de Anticítera, el del *Thérese*, el del *Britannic*, así como decenas de otros más en aguas de las islas Día, Psira, Dhokos, etcétera. Se trata de un ingenio verdaderamente extraordinario: con él aparece en el fondo el menor relieve, y se puede enviar de inmediato a los buceadores para comprobar si se trata efectivamente de los restos de un naufragio.

El sonar de barrido lateral es, igualmente, muy preciso; pero se requiere que exista aunque sea una mínima irregularidad del terreno, capaz de originar una «sombra». Si tal no es el caso, y el pecio está completamente sepultado en el sedimento, hay que recurrir a otros métodos. El sonar clásico, cuando se varía la frecuencia de las emisiones, puede en ciertas circunstancias revelar, en el seno mismo del substrato, núcleos de particular densi-





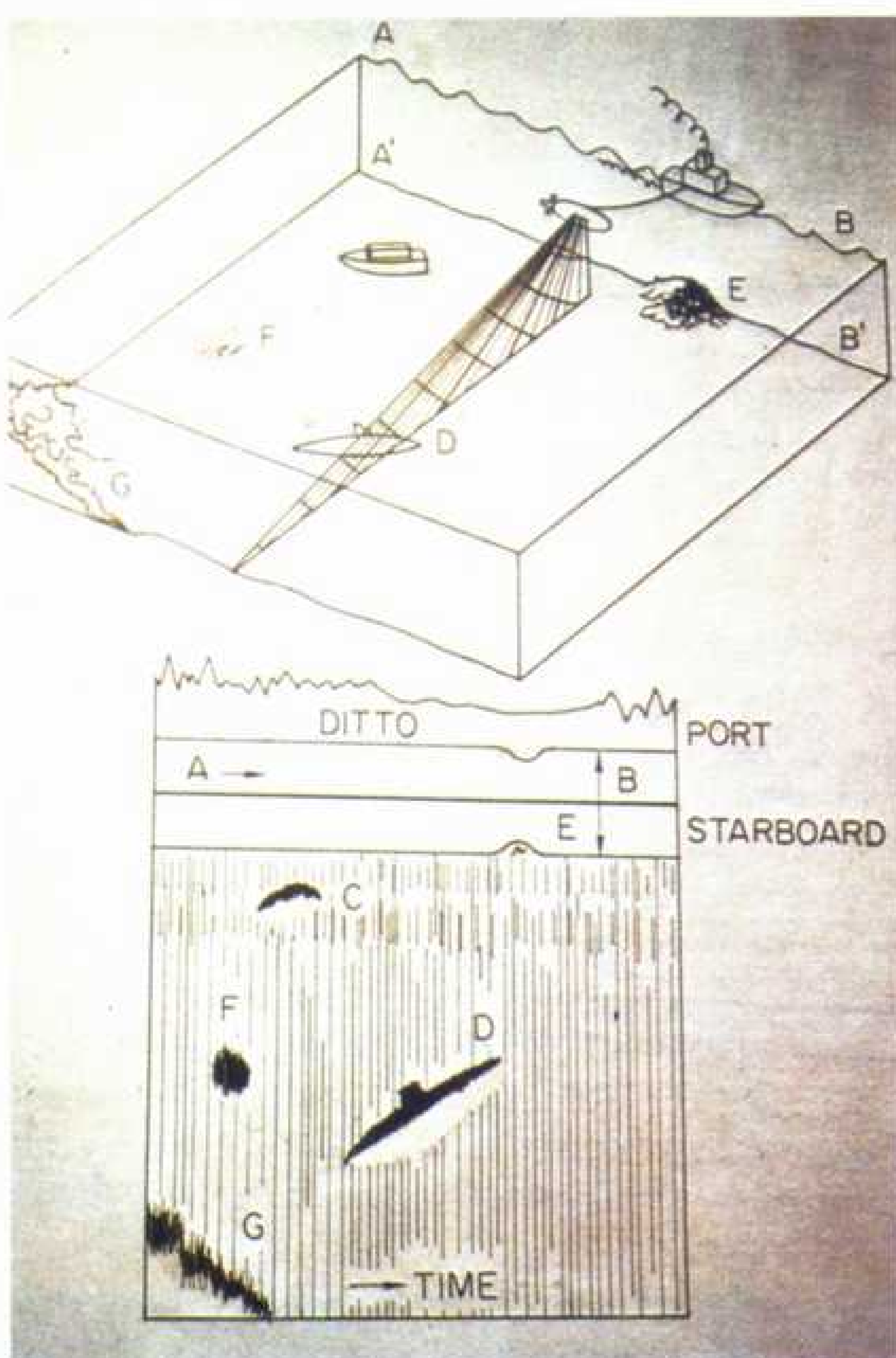
La televisión submarina. *La cámara de televisión submarina (esquema de aquí al lado y fotografía de abajo) puede ser arrastrada por un barco de superficie adaptada a un sumergible de exploración. Funcionando en circuito cerrado, está metida en una caja estanca, generalmente perfilada para mejor penetrar la masa acuática, y consolidada para resistir los choques. También el cable de tracción está reforzado.*





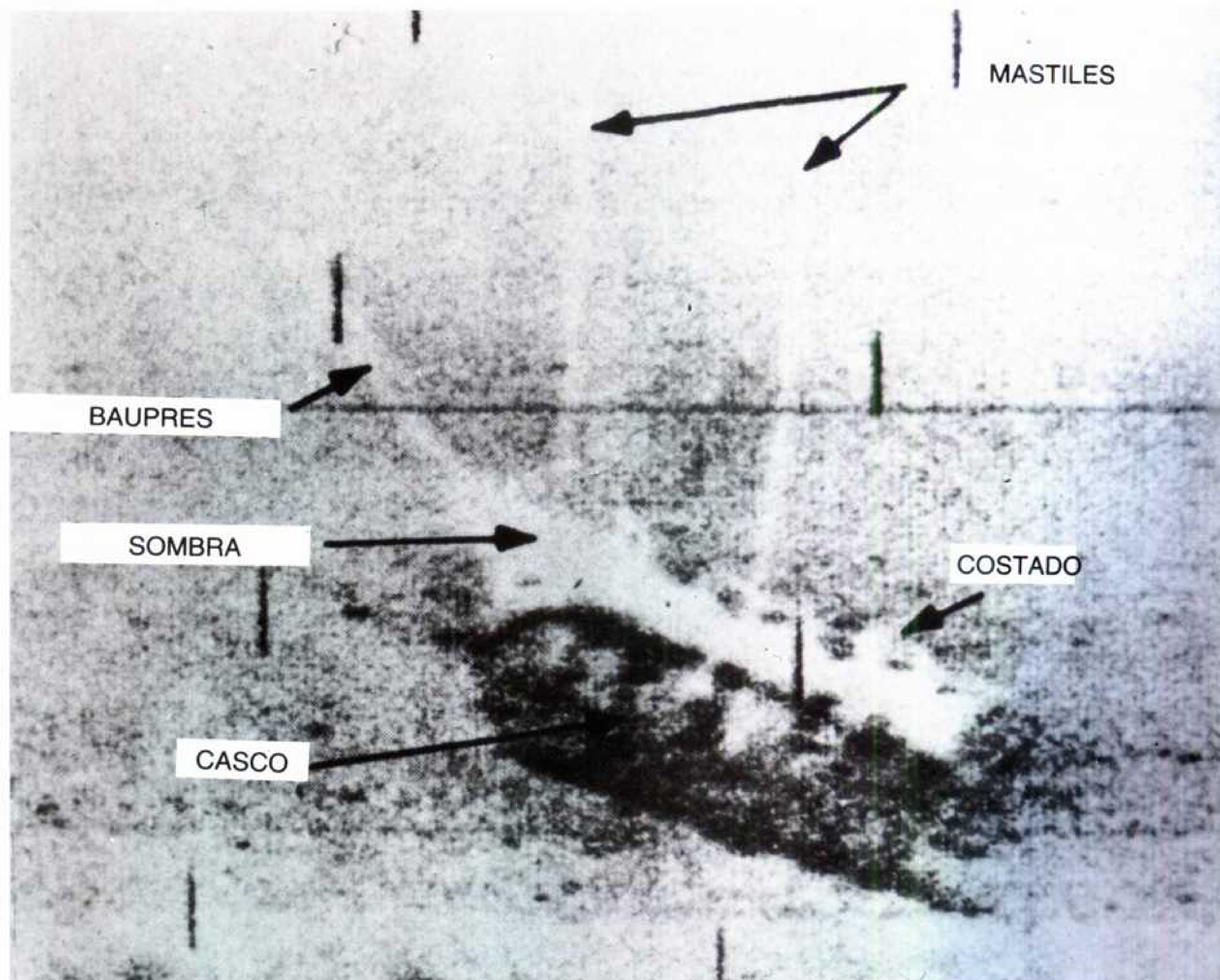
Buscando en el fondo. *Entre los instrumentos más utilizados por los arqueólogos, tanto en tierra firme como en el mar, figuran los detectores de metales. Algunos de estos aparatos logran detectar masas metálicas más bien pequeñas (algunos kilogramos) a 200 metros de distancia. Estos ingenios son manipulados a menudo por los buceadores (esquema de al lado y fotografía de abajo). Los magnetómetros se usan con el mismo propósito.*







dad, que pueden corresponder, por ejemplo, a las partes metálicas.
El sonar, de cualquier especie que sea, hace maravillas en los fondos arenosos, de lodo y de guijarros; pero en los fondos rocosos apenas establece diferencia entre los obstáculos naturales y los pecios. Entre los corales del Caribe, por ejemplo, apenas tiene interés su empleo.
Se prefiere entonces los detectores de metales o los magnetómetros, aparatos éstos que miden el campo magnético terrestre. Los objetos metálicos, sobre todo de hierro, provocan distorsiones en estas medidas, y los datos anormales ponen sobre aviso a los arqueólogos. Los barcos de la época de los Grandes Descubrimientos contienen mucho hierro (armaduras, bolas, cañones) y se prestan a este tipo de detección. Las antiguas naves griegas o romanas, con poco de este metal (pero sí bronce), escapan algunas veces a los levantamientos magnetométricos. A diferencia del sonar, los magnetómetros no están todavía muy perfeccionados, y en este aspecto no se puede esperar mucho de ellos. Cuando se buscaban los restos del *Concepción,* que había desaparecido frente a las costas de la República Dominicana en 1641, el americano Burt Weber utilizó al principio un magnetómetro que no le sirvió gran cosa. Habiendo podido a continuación disponer de un aparato diez veces más sensible, reanudó sus investigaciones, y descubrió los restos, que se encontraban efectivamente sepultados en aquel lugar.
Existen en realidad magnetómetros de alto rendimiento, pero son patrimonio exclusivo de las Marinas de guerra de los grandes países. Modelos de este tipo se utilizaron, por ejemplo, para localizar las dos bombas termonucleares perdidas cuando un avión norteamericano se accidentó no lejos de Palomares, en España. Se comprobó su eficacia, puesto que las bombas fueron recuperadas. Pero estos detectores resultan demasiado caros como para poder equipar con ellos las unidades de investigación arqueológica, cuyo problema es siempre el de los créditos...



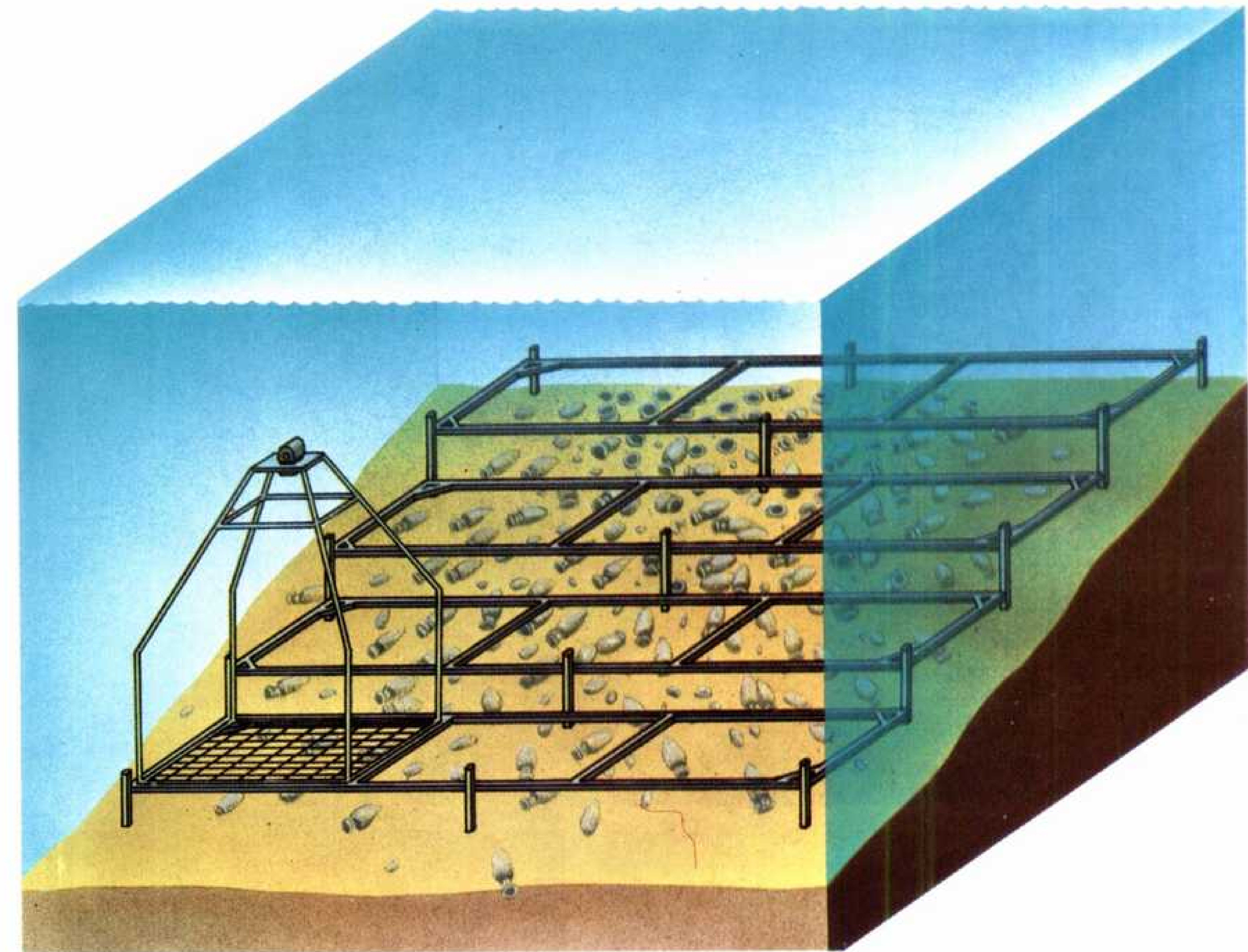
El sonar de barrido lateral. *Existen varios tipos de sonar, todos los cuales permiten obtener «imágenes» sonoras de los fondos explorados (en esta página, en el centro). El sonar de barrido lateral está más perfeccionado, puesto que permite de algún modo visualizar las sombras de los objetos que yacen sobre el substrato. Proporciona una imagen fiel del suelo marino en una franja de 150 a 200 metros a una y otra parte del barco que lo arrastra. En la fotografía de arriba: Guy Jouas sostiene el «pez» del sonar de barrido lateral inventado por el profesor Harold E. Edgerton, que está a su lado. Aquí encima: el pecio del* Hamilton, *que naufrago en 1813 en los Grandes Lagos.*

El levantamiento

Los arqueólogos submarinos manipulan con sumo cuidado los objetos encontrados en el fondo. No se trata sólo de encontrar un pecio: hay que aprovecharlo con todas las precauciones necesarias, según los métodos científicos. Tanto en tierra firme como bajo el agua, el arqueólogo debe anotar con precisión el emplazamiento de todos los objetos encontrados, y esto en las tres dimensiones: la acumulación de las capas es tan importante, para determinar su edad, como la disposición horizontal de los restos. Los arqueólogos trazan planos minuciosos de los pecios, tomando todas las fotografías necesarias. En una palabra, proceden a un levantamiento metódico de los objetos que se proponen subir a la superficie para estudiarlos detalladamente.

Para materializar en el papel los lugares que exploran los arqueólogos submarinos, se acostumbra proceder a sacar una serie de fotografías que se montan luego en el mismo lugar, y que constituyen una especie de mosaico fiel del pecio. Mientras tanto, otros arqueólogos ejecutan croquis, toman notas, etc. A veces, los buceadores recurren a las técnicas clásicas de la triangulación, las mismas que se emplean en topografía. Todas estas operaciones previas ocupan mucho tiempo, y pueden parecer superfluas a los profanos. Pero revisten gran utilidad: sólo ellas permiten luego reconstruir fielmente la estructura del pecio. Hace poco tiempo todavía no se tomaban tantas precauciones: a principios de siglo, por ejemplo, tanto en Anticitera como en Artemision, las sociedades encargadas de la recuperación de las estatuas antiguas descubiertas por los pescadores se contentaban con atar con cuerdas estas piezas artísticas únicas en el mundo, e izarlas con ayuda de poleas. Inútil es decir que muchas se hundieron para siempre y que, además, muchos objetos pequeños se rompieron, cuando habría sido interesantísimo estudiarlos.

La mayoría de las técnicas de levantamiento de los pecios (fotografía submarina, dibujos, triangulación subacuática) se han desarrollado en el Mediterráneo. Una de las más utilizadas fue perfeccionada por el profesor Nino Lamboglia en un pecio romano cerca de Spargi, en la isla de la Magdalena, en Cerdeña. Consiste en bajar hasta el fondo una especie de gran cuadrícula rectangular hecha de



Fotografiando bajo el agua. *Cuando se empieza a explorar un pecio, se comienza por una localización muy precisa de las diferentes piezas que yacen en el fondo. Para ello, casi siempre se efectúa un levantamiento fotogramétrico del lugar; en otras palabras, se le divide en pequeños cuadrados, que se fotografían sucesivamente. El conjunto de placas proporciona un mosaico que restituye bastante bien el aspecto del lugar (dibujo de arriba y fotografías de la página siguiente, abajo). Estas operaciones deben efectuarse con cuidado, pues de ellas depende la calidad del ulterior aprovechamiento del pecio. Cuando se quiere tener una imagen de conjunto, se sumerge una torreta de fotógrafo (en la página siguiente, arriba). A veces se requiere fotografiar bajo otros ángulos (fotografía inferior).*

tubos, y dividida en cuadrados iguales. De este modo, los objetos son localizados en relación mutua entre ellos, fotografiándolos y dibujándolos dentro de esta cuadrícula. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada por otros equipos, entre ellos el del *Calypso* en Creta. Una red del mismo género se caló a 35 metros de profundidad sobre el pecio bizantino deYassi Ada, no lejos de las costas turcas.

Los levantamientos fotográficos, los croquis y los estudios telemétricos permiten —efectuando correciones cada vez más precisas— hacerse una idea exacta de la estructura del pecio. A veces, como preconizaron y probaron Claude Duthuit y William Wiener, es posible (si el agua no es muy profunda) sacar fotografías desde la superficie. Pero cuando es demasiada la profundidad como para permitir este tipo de placas, se hace una serie de «fotografías aéreas subacuáticas», es decir, se pasea una cámara por encima del yacimiento. Empleando el procedimiento de la estereofotografía, se obtienen imágenes que sugieren la tercera dimensión. Esto es esencial para comprender la disposición de ciertos barcos, sobre todo si, como ocurre a menudo, los objetos sepultados se han amontonado unos sobre otros al pudrirse la madera o en el transcurso del naufragio, que ha podido ser precedido de un fuerte choque. Distinguir las diferentes capas de piezas arqueológicas resulta entonces capital, pues son ellas las que posibilitan comprender la organización general del barco.

Cuando los arqueólogos submarinos pueden disponer de un sumergible de investigación, su trabajo es más fácil. Tal fue el caso del equipo Cousteau en Grecia, donde, con ayuda del platillo buceador, los buceadores descubrieron, localizaron, fotografiaron y desembarazaron varios pecios importantes.

Siempre resulta difícil fotografiar bajo una capa de agua densa, aunque esté clara. Tarea a veces imposible cuando el agua está cargada de sedimentos o de plancton.

Para facilitar este trabajo se han puesto a punto diversas técnicas. Pero todas ellas no se pueden emplear a gran escala.

Se haga lo que se haga, siempre se estará limitado por el hecho de que el agua absorbe los rayos luminosos: incluso la mejor iluminación no permite restituir los matices, ni aun los valores de luz, a más de unos metros de espesor.

Recurriendo a diversas técnicas ultramodernas y a un sumergible, se logra cartografiar los restos de un naufragio en aguas tan turbias como las de la bahía de Penobscot, donde yacía el *Defence*. Pero, en tales condiciones, nada sustituye a la experiencia de un grupo de buceadores bien entrenados.



Los instrumentos de excavación

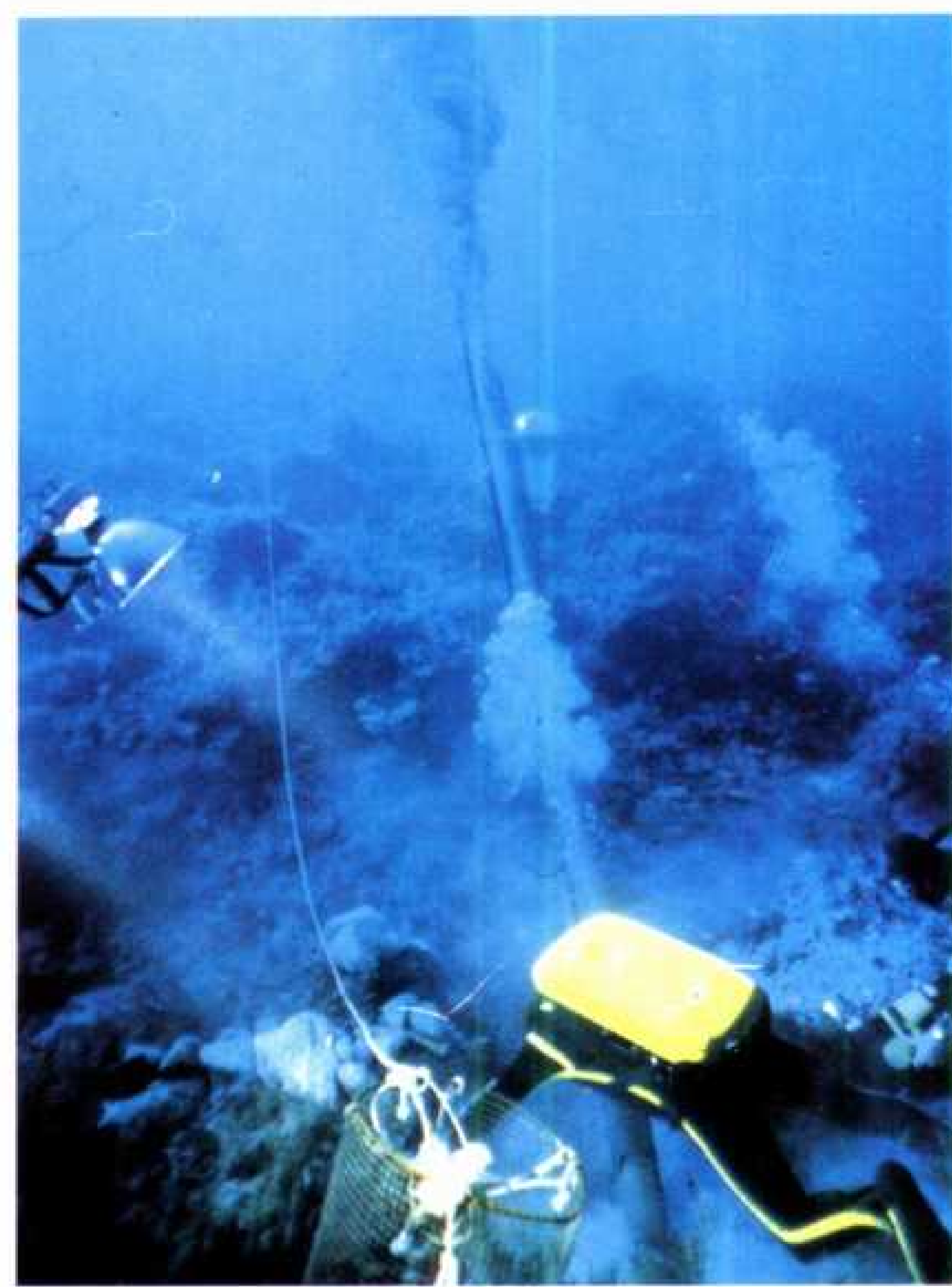
YA hemos dicho que el arqueólogo submarino es particularmente meticuloso cuando se trata de hacer un levantamiento detallado del lugar de la excavación. En cuanto a los objetos que hay que desprender, deben ser manipulados con extrema precaución. Cuando están simplemente sepultados en la arena o en el lodo, la recuperación es bastante fácil; pero con mucha frecuencia están aglomerados con el sedimento, encajados entre piedras, etc. En tierra firme, los arqueólogos proceden suavemente, desprendiendo los objetos que les interesan centímetro a centímetro, a veces con cucharilla y pincel. El tiempo de que los arqueólogos submarinos disponen es siempre dramáticamente corto: los tanques de oxígeno tienen una determinada capacidad, que no permite una estancia prolongada bajo la superficie; y los tiempos de descompresión son —o, mejor dicho, resultan— interminables.







Para avanzar más rápido sin hundir aún más el pecio, uno de los mejores instrumentos de excavación de que disponen los arqueólogos submarinos es la aspiradora, también llamada «chupona». Se trata de un tubo flexible, de unos quince centímetros de diámetro aproximadamente, conectado a un compresor situado en la superficie. En realidad, este aparato funciona como una gigantesca aspiradora.



Las grandes piezas interesantes son desprendidas de su ganga con gran eficacia, y pueden ser luego subidas a la superficie con todas las precauciones necesarias. Pero los arqueólogos se interesan también, y con toda razón, por los objetos menudos: éstos son tan elocuentes a veces sobre las costumbres de una época como las grandes estatuas o las ánforas. Por esta razón, el agua mezclada con sedimentos y fragmentos diversos que aspira la chupona es vertida en superficie sobre una especie de cedazo de red muy fina, que retiene todo cuanto es susceptible de ofrecer algún valor arqueológico.

La aspiradora puede ser utilizada a diferentes profundidades, valiéndose como acompañamiento de un barco oceanográfico, o de una plataforma de inmersión. Los hombres del *Calypso* la han empleado hasta 55 metros de profundidad.

Las aspiradoras utilizadas durante los años sesenta eran grandes y pesados artefactos, difíciles de manejar, especie de monstruos metálicos que fatigaban rápidamente a sus «sirvientes» en inmersión. En la actualidad se construyen máquinas del mismo tipo igual de eficaces, pero más fáciles de montar, de colocar en su sitio y de manipular bajo el agua.

En ocasiones se requiere utilizar un artefacto potente para desprender la primera capa de sedimentos aglomerados que cubre un pecio. Se echa mano entonces de una gran bomba aspirante. Es un ingenio que utilizaron, por ejemplo, los arqueólogos escandinavos cuando efectuaron los trabajos preliminares indispensables para desprender el *Vasa,* una nave de guerra sueca del siglo XVII naufragada en el puerto de Estocolmo.

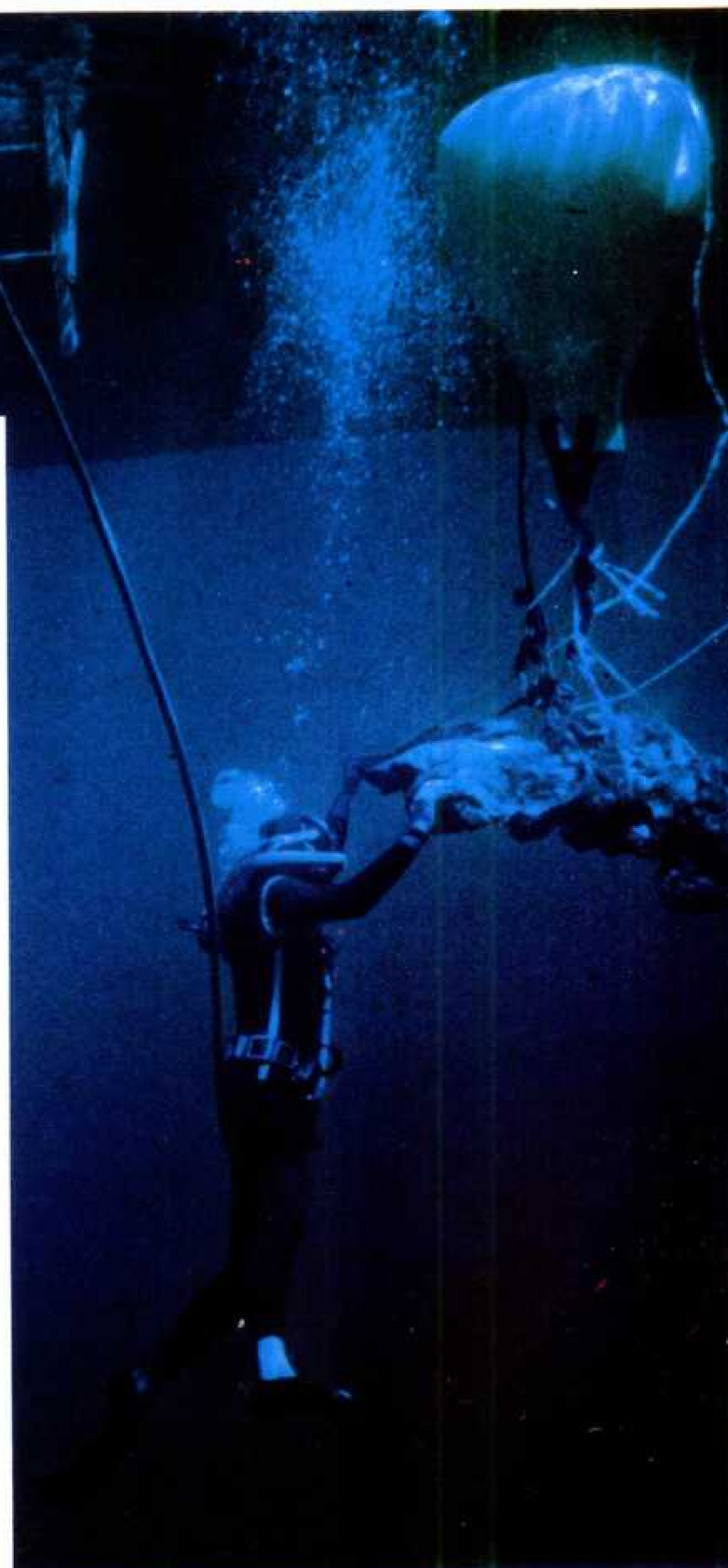
Cuando se quieren practicar rápidamente agujeros profundos en el substrato, evitando al propio tiempo que se colmen de inmediato por la inestabilidad de sus paredes y los incesantes derrumbes, se utiliza un aparato llamado *mailbox* o *sand blaster:* este «buzon», o «lanza-arena», consiste en un gran deflector metálico

La manga de succión. *Entre los instrumentos empleados en las excavaciones subacuáticas, la manga de succión, llamada también aspiradora y chupona, ocupa el puesto principal. El dibujo y las fotografías de la página anterior proporcionan una idea sobre su funcionamiento y empleo. Consiste en un largo tubo flexible, que actúa como aspirador, unido en la superficie a un compresor enclavado a bordo de un navío, y que termina en un embudo que manipula un buceador. La aspiradora permite descubrir los objetos grandes enterrados (ánforas, estatuas, cañones, etc.). Los sedimentos y pequeños objetos son aspirados por el tubo: son lanzados a un cesto metálico (página anterior, arriba, a la izquierda), donde los arqueólogos recuperan las piezas interesantes.*











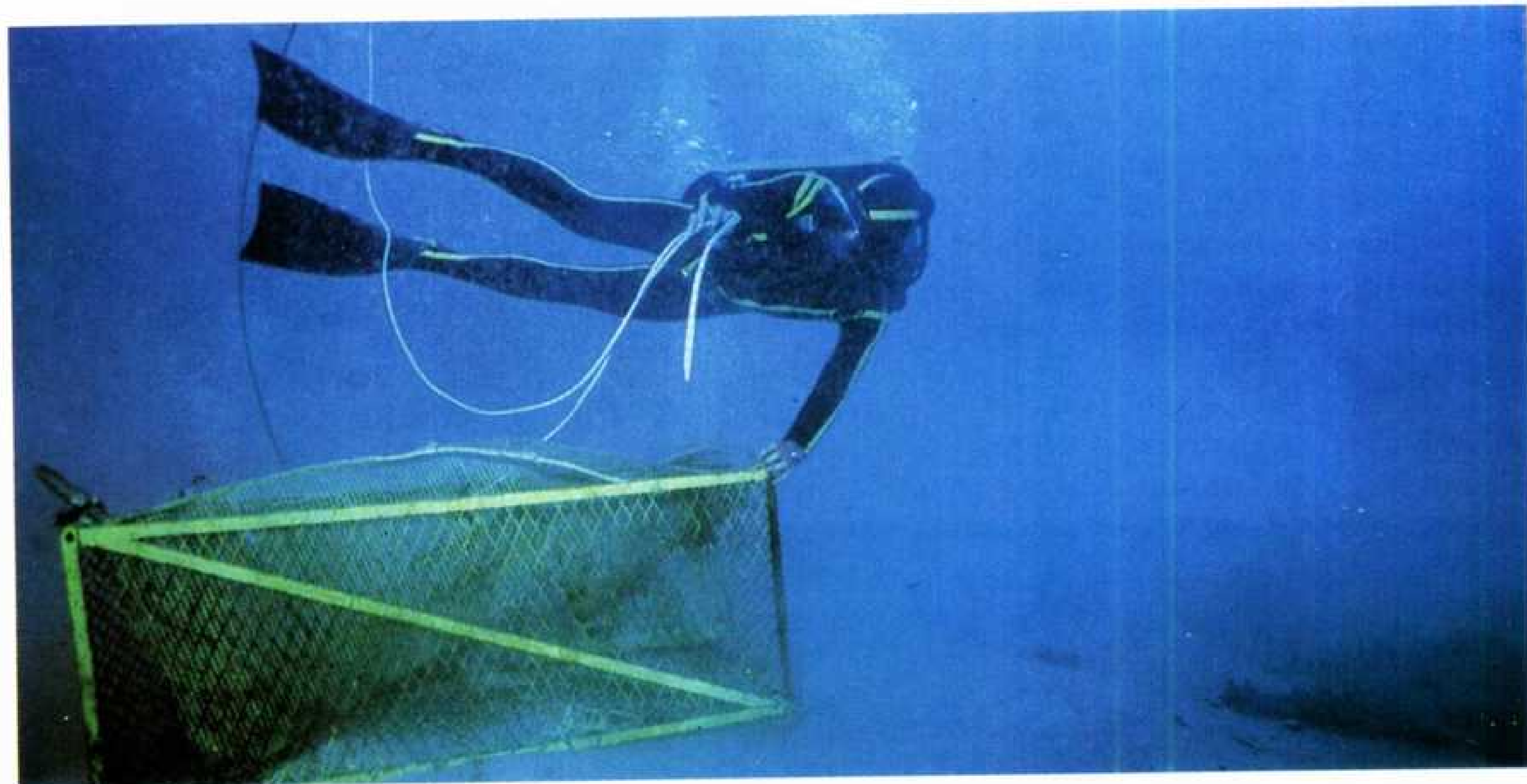
La recuperación por medio de globos. *Las más hermosas piezas arqueológicas descubiertas en los pecios son izadas a la superficie a mano; pero resulta más sencillo enviar los objetos ordinarios hacia el barco acompañante utilizando el empuje de Arquímedes, esto es, atándolos a un globo inflable bajo el agua. Un hombre espera en el bote a los «porteadores» del fondo...*

que se adapta a la popa del barco para desviar hacia abajo y utilizar la fuerza de la corriente de agua originada por sus hélices. Este sistema ha sido utilizado repetidamente en fondos de sedimentos muy gruesos, para recuperar especialmente los más antiguos barcos que nunca se hayan encontrado en América. Estos formaban parte de una flotilla española que transportaba un cargamento de oro y metales preciosos, y que zozobró en 1554 frente a las costas de la isla del Padre (que hoy forma parte de Texas). Este artilugio está concebido de suerte que puede regularse la corriente y potencia del chorro en función de la resistencia del sedimento que hay que sacar. Albert Falco, por su parte, ha inventado una técnica bastante parecida: se sirve del chorro de la bomba del platillo buceador del *Calypso* con idéntico fin.

Para subir a la superficie las piezas arqueológicas descubiertas en el fondo y luego cuidadosamente desprendidas por los arqueólogos, se recurre igualmente a diversos métodos. Cuando se trata de objetos muy valiosos, como joyas, estatuas antiguas de bronce o mármol, etc., es raro que el buceador que ha efectuado el descubrimiento renuncie a subirla él mismo a la superficie: ¡es la coronación de sus esfuerzos! Pero las piezas más comunes generalmente se depositan en un gran cesto metálico: a una señal determinada, los asistentes de los arqueólogos



La recuperación con cestos. *Los grandes cestos de red metálica constituyen la solución más comúnmente adoptada para recuperar las grandes piezas arqueológicas recogidas por los buceadores. En la página siguiente: a la izquierda, ánforas romanas recuperadas por el equipo del* Calypso *en Grecia. A la derecha: algunas de las piezas encontradas en el pecio del Grand Congloué.*



que permanecen en el barco de acompañamiento izan el receptáculo halando el cable del que pende. Estando la aspiradora en marcha, muchos pequeños objetos, como acabamos de decir, suben por su tubo al aire libre: aspirados con los sedimentos y el chorro de agua, caen a un fino cedazo que los retiene. A veces, cuando hay que subir objetos muy pesados o muy embarazosos, se recurre a la grúa del barco acompañante: así, la grúa del *Calypso* ha izado a bordo enormes cañones venecianos extraídos de los restos del *Teresa*. A veces sucede que, para este tipo de gruesas piezas, hay que recurrir a una especie de «paracaídas ascensional»,





esto es, a un globo que se infla bajo el agua y hace subir la pieza en cuestión hacia la superficie obedeciendo al empuje de Arquímedes.
Cuando hay poco fondo, se puede establecer también una especie de barrera todo en torno del pecio, bombear agua de este recinto cerrado y trabajar sobre el hallazgo arqueológico como si se estuviera en tierra firme. Así se ha procedido en diversas ocasiones, como por ejemplo en el lago Nemi, al sudeste de Roma, donde se rescató una galera romana (para lo cual se tardó cuatro años, de 1928 a 1932). De esta manera, también recuperaron los daneses cinco barcos vikingos en el fiordo de Roskilde.

La conservación de los objetos

La conservación de los objetos recuperados en el fondo del agua plantea a los arqueólogos problemas específicos. Si el agua está suficientemente fría, y si las piezas han estado aisladas de la acción de los animales perforantes y de las bacterias descomponedoras, las piezas de madera, de bronce o de mármol se conservan bastante bien. Pero su textura interna se ha roto, y basta a menudo con que se las suba a la superficie para que se deshagan en polvo. Evidentemente, los arqueólogos hacen lo imposible por evitar este desenlace. Para ello han desarrollado diversas técnicas, que no siempre son fáciles de aplicar, y además resultan bastante caras.

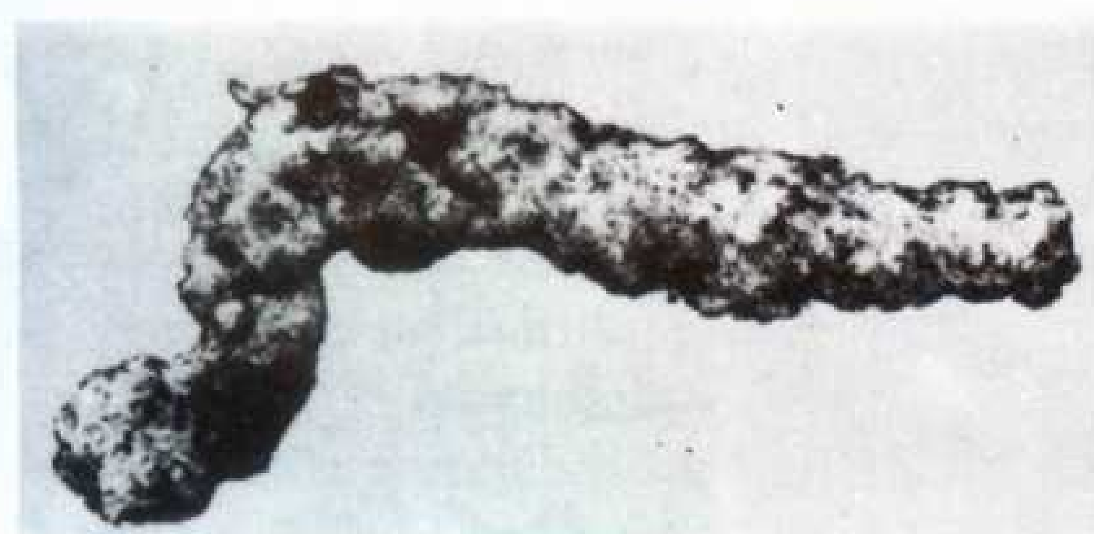
Después de pasar un largo período en el agua, la celulosa, la lignina y un buen número de otras sustancias de origen orgánico que componen la madera, el almidón, los azúcares, las sales minerales, los pigmentos, etc., se descomponen: sus moléculas se rompen por influencia de los componentes del agua salada o de las enzimas liberadas por las bacterias. La desintegración de estos materiales hace muy porosos a los pecios; a veces casi «fantasmales». Todos los espacios intercelulares, todas las interfibras se llenan de agua. Mientras el agua ocupa los intersticios, la estructura del pecio se mantiene. Pero en cuanto se sacan estos restos del medio acuático, se desmoronan en polvo. Cuando el agua intersticial escurre o se evapora, se produce un colapso general de las paredes celulares o fibrosas.

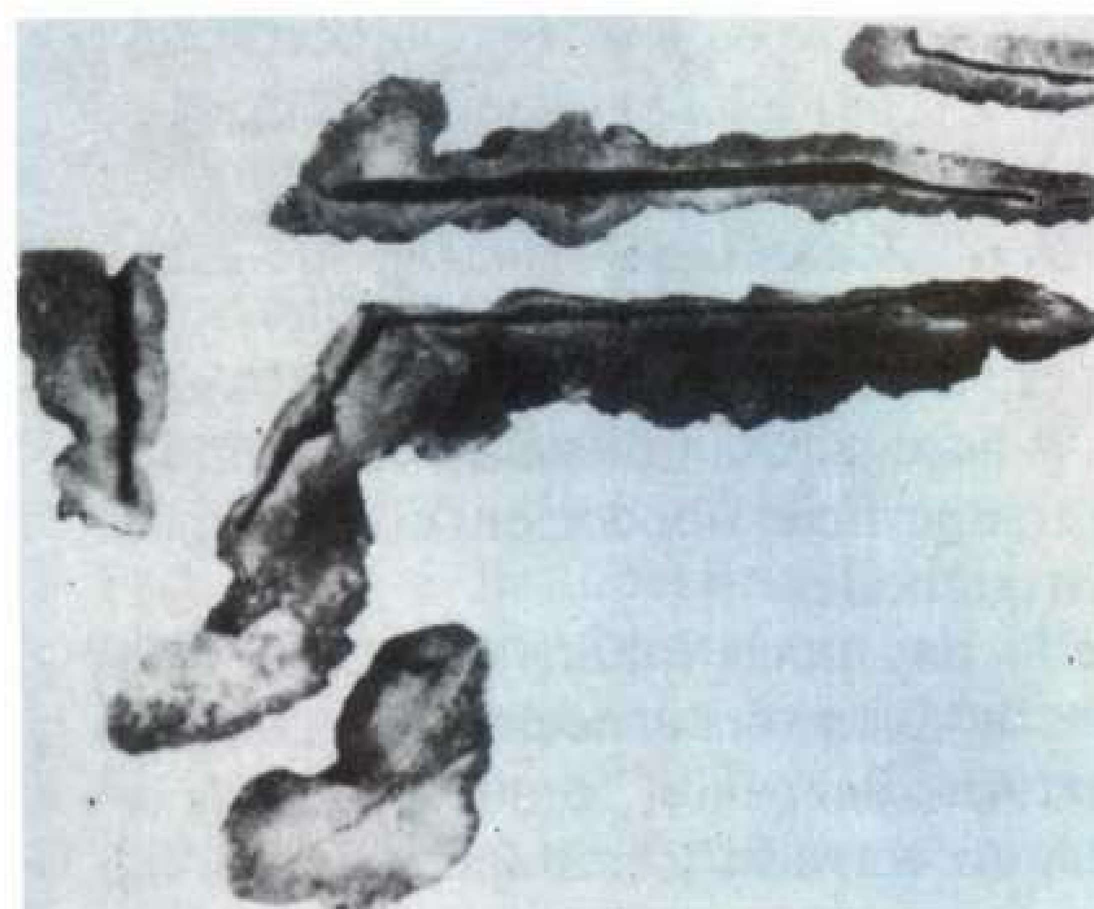
Para evitar este fenómeno existen diversas técnicas. La mayoría consistente en sustituir por otro compuesto el agua de las células vaciadas de su contenido orgánico, para mantener la estructura de los objetos. Estos métodos son difíciles de aplicar, a pesar de la escasa viscosidad de los elementos actualmente existentes (resinas, plásticos diversos, etc.). Y sobre todo, apenas se los puede aplicar si no es a objetos de pequeño tamaño o valiosísimos por su rareza, pues su costo es desgraciadamente muy elevado.

Una de las formas más eficaces de tratar la madera consiste en impregnarla con glicol de polietileno (PEG). Para ello se empapa la pieza de madera que hay que salvar en un baño de PEG en disolución; progresivamente se va aumentando la concentración de este cuerpo en el agua: por ósmosis, el PEG penetra profundamente en el interior de las fibras vegetales muertas; y cuando se retira la madera del agua, la desecación entra en acción; el PEG se distiende y llena los espacios











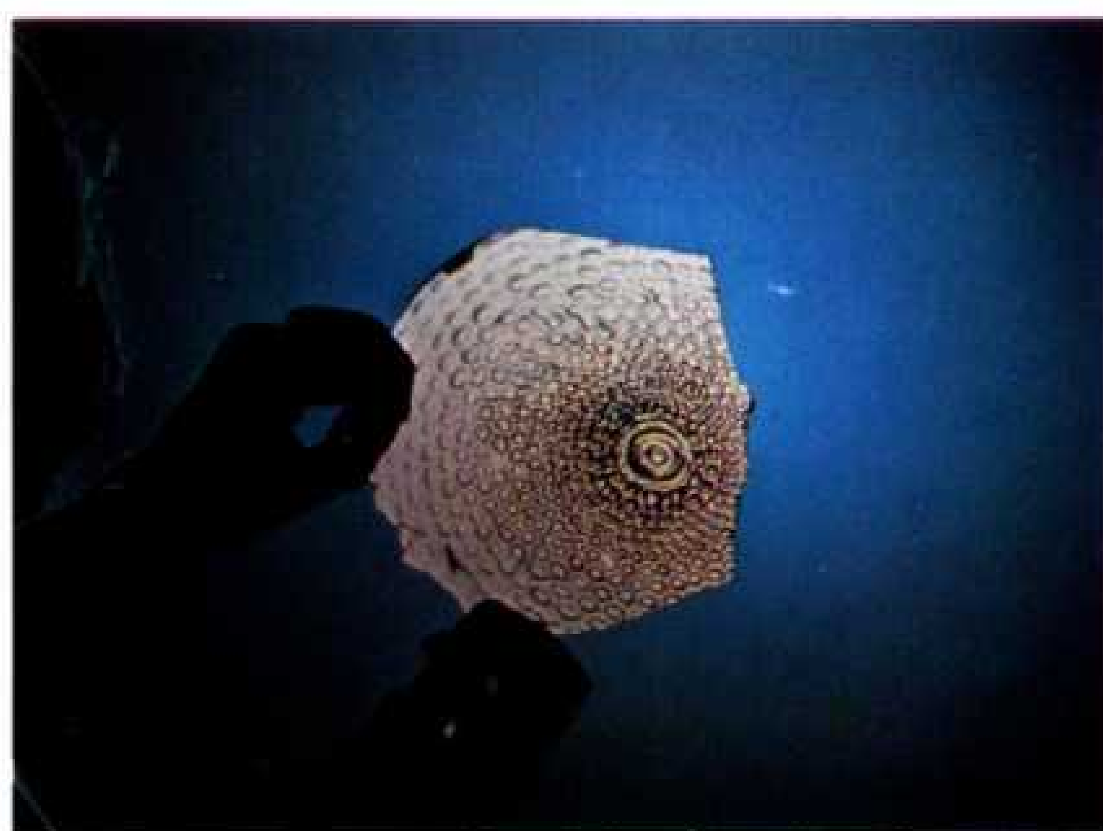


La restauración. *El agua, sobre todo la de mar, degrada los objetos que en ella permanecen por largo tiempo. Cuando las piezas arqueológicas llegan a la superficie, hay que consolidar las que han sido dañadas. Es un trabajo largo y minucioso que se sirve de diversas y modernas técnicas, por lo general muy costosas. En esta página: algunos aspectos de la complicada y paciente tarea de restauración.*



La conservación. *Para ello se utilizan diversos métodos, especialmente materias plásticas y resinas sintéticas gracias a las cuales se logra mantener la estructura de los objetos. A veces, estos llegan a la superficie totalmente rotos, a pesar de las precauciones tomadas, y los restauradores deben entregarse a un trabajo de rompecabezas concienzudo antes de poder aplicarles las diversas técnicas de conservación.*









vacíos. Pero este tratamiento, en apariencia simple, es en realidad difícil de dominar. Para las grandes piezas de madera, resulta además muy prolongado (¡puede tardar varios años!). Para que sea eficaz, requiere una atenta vigilancia de las concentraciones de PEG del baño y de la temperatura de éste. El barco antiguo de Kirenia, en Chipre, al igual que el *Vasa* en Estocolmo y los cinco *drakkars* vikingos de Roskilde, en Dinamarca, sufrieron con éxito esta terapéutica de conservación.

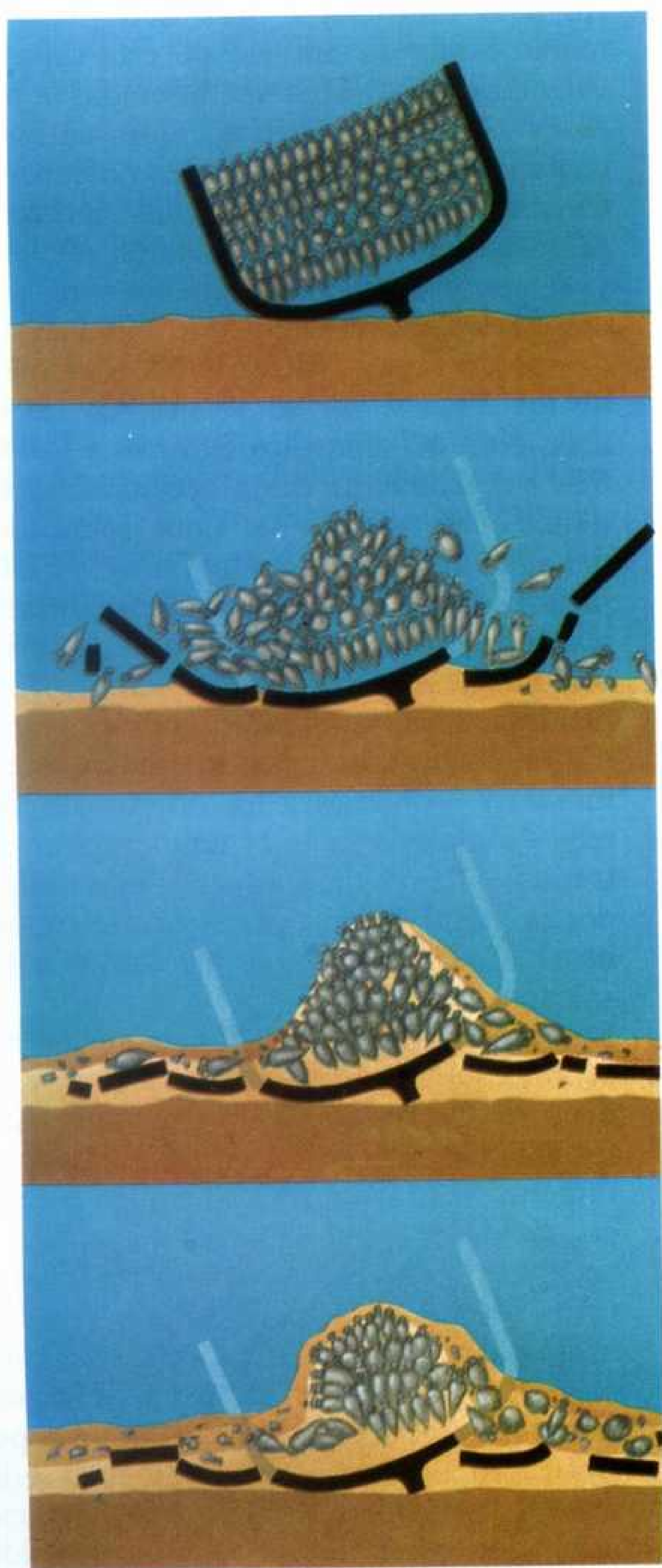
Los objetos metálicos plantean otros problemas, igualmente arduos de resolver. Cuando se encuentran en el fondo del agua, están a menudo cubiertos de una gruesa capa de organismos incrustantes (algas, esponjas, gusanos, etc.), que tienen que ser eliminados mecánicamente con las mayores precauciones. Si el objeto parece particularmente frágil, se recurre a la radiografía para determinar el medio mejor de sacarlo de esta capa de origen biógeno. Una vez liberada, la pieza es a menudo tan frágil que, antes de cualquier otra manipulación, conviene reforzarla con ayuda de resinas sintéticas. Más aún que los demás metales, el hierro y el cobre requieren a menudo de más atentos cuidados. Hay que eliminar los óxidos de la superficie de las estatuillas, de los frascos, de las vasijas, de las armas, etc., así como los cloruros y los demás subproductos de la acción corrosiva de los componentes del agua (sobre todo del agua de mar). Para lograr salvar tales piezas se recurre a cinco métodos diferentes: la reducción electrolítica de los excesos de sales, la limpieza galvánica, la difusión acuosa, la limpieza química (variable según las sustancias que hay que eliminar) y —sólo para los objetos de hierro— someterlos a altas temperaturas. El tratamiento electrolítico es el más utilizado; es la forma más «sutil» que se conoce hasta ahora de separar los óxidos o las sales de un metal.

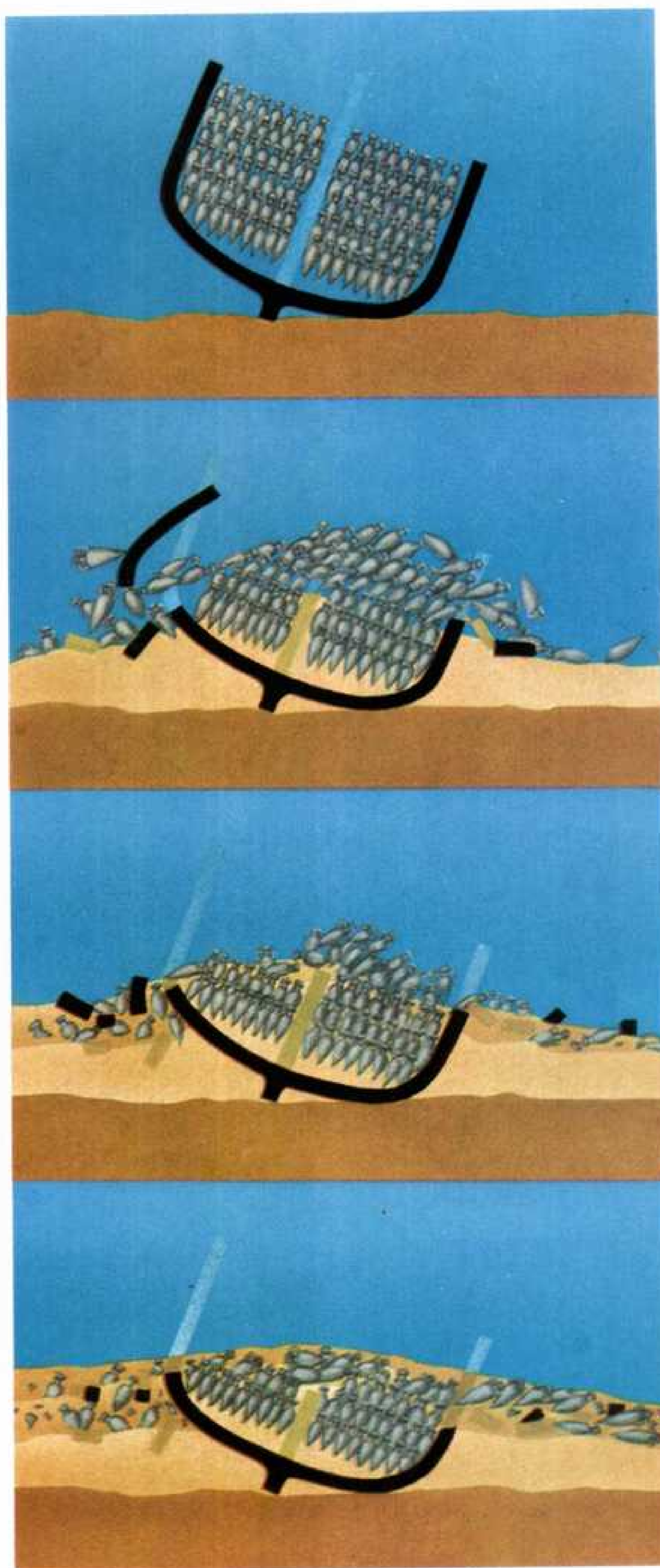
En los pecios muy antiguos se encuentran bronces, que resisten a la corrosión, y un poco de cobre, que la resiste muy mal. En cuanto al hierro, desaparece casi enteramente, corroído por el orín. Sin embargo, se han podido encontrar rastros de este último: los óxidos de hierro constituyen concreciones en las que a veces se ha logrado leer la estructura original del objeto. En ocasiones, los pedazos de hierro han desaparecido materialmente, pero su forma permanece inscrita en el sedimento: basta con verter por un orificio una goma o una resina de secado rápido para lograr obtener un molde de la pieza. Es ésta una de las razones por la que los restos de naufragios deben ser excavados metódicamente, lentamente, y al cuidado de profesionales: si uno se precipita, destruye estas estructuras efímeras.

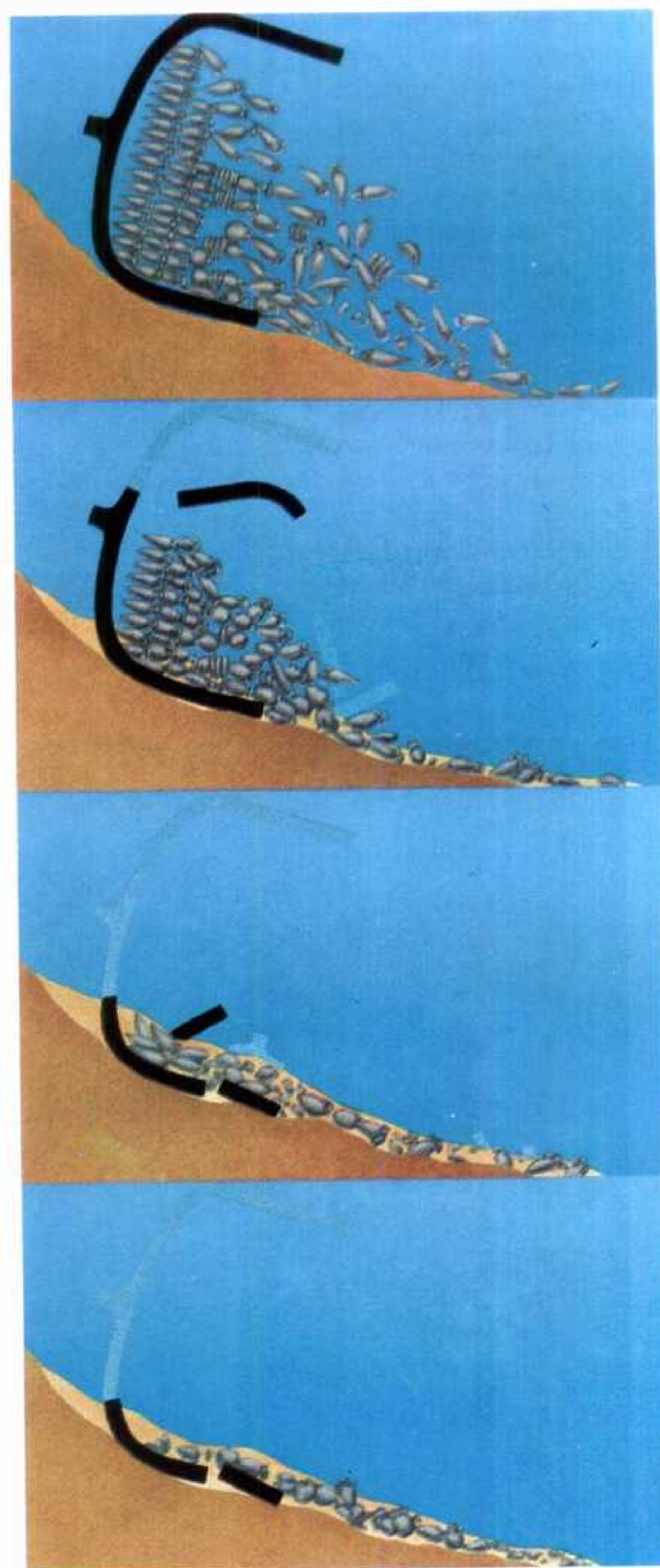
Pero el método del moldeado no está reservado a las piezas de hierro únicamente: también puede aplicarse a la madera. De este modo, en efecto, se han reconstruido cientos de piezas del armazón del pecio del siglo VII encontrado en Yassi Ada, en Turquía.

Tampoco los objetos de cerámica están a salvo de los ataques del tiempo. El agua del mar los ataca parcialmente, pero sobre todo se convierten en asiento de organismos perforantes que los deterioran grandemente. Si en apariencia mantienen su forma en el fondo del agua se desmoronan con frecuencia en cuanto se sacan a la superficie. Para evitar esta pérdida irreparable, se necesita introducirlos por largo tiempo en agua dulce, antes de reforzarlos con ayuda de resinas sintéticas, como el acetato de polivinilo o la resina acrílica B-72.

La reconstrucción de los barcos



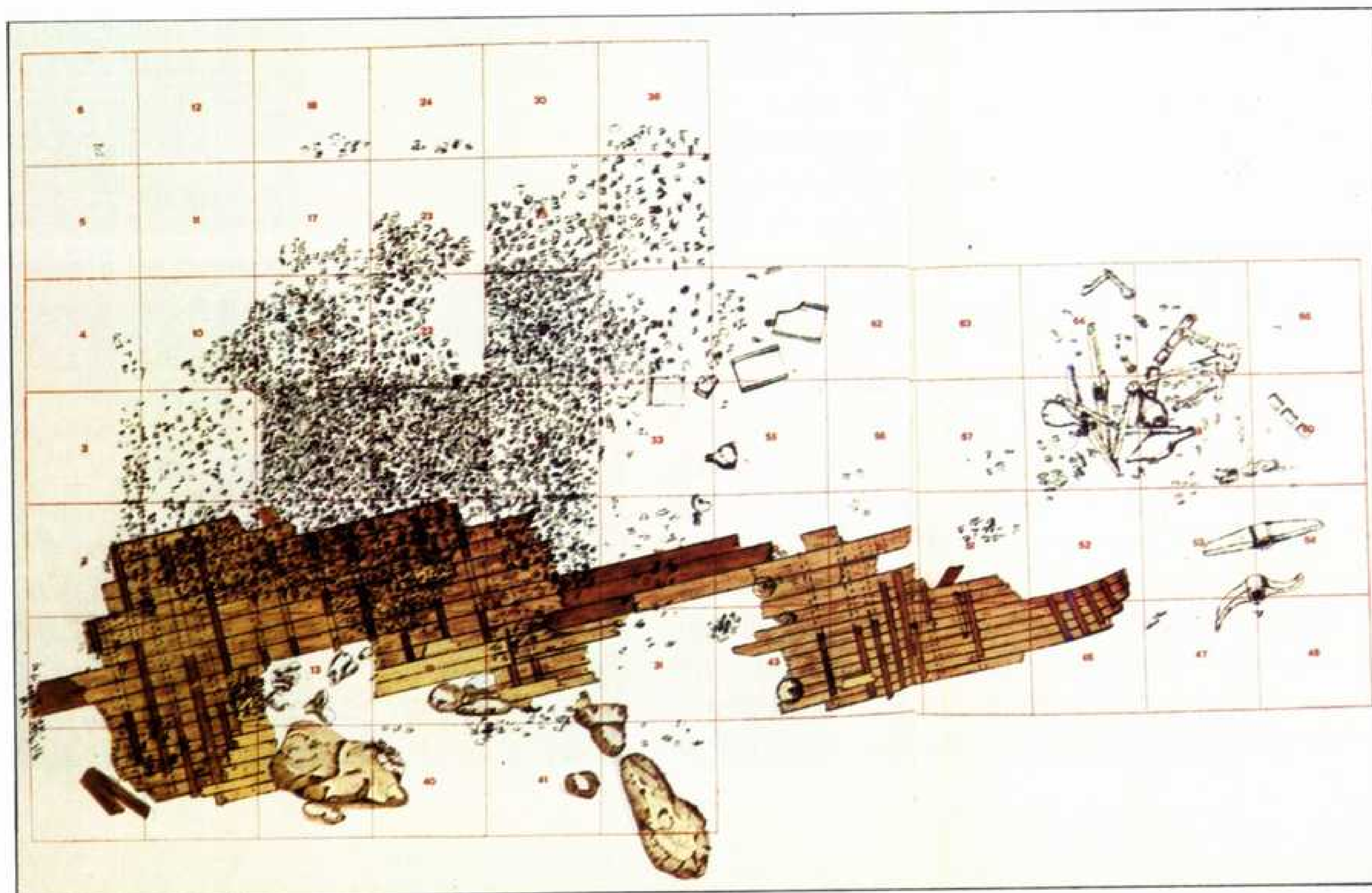




Las metamorfosis de los pecios. Los esquemas de arriba dan una idea de la variedad de casos que pueden producirse cuando un barco naufraga. El fondo puede ser llano o en pendiente: cuando el casco se degrada, el cargamento no se desparrama de igual modo en el sedimento. El pecio puede encontrarse en una zona en que hay corrientes muy fuertes, o, por el contrario, en un lugar donde la sedimentación es intensa: aquí también su fisonomía no será la misma al cabo de unos años, y a fortiori de unos siglos. Los arqueólogos subacuáticos deben tener una especie de intuición...

TAREA en verdad apasionante la de la reconstrucción de un barco... Pero también, uno de los más estimulantes desafíos que puede proporcionarse a la inteligencia de los arqueólogos subacuáticos. Las técnicas de construcción de los barcos caracterizan a una civilización determinada tanto como los cargamentos que trasportaban, la manera de estibar y disponer estos últimos, etc.

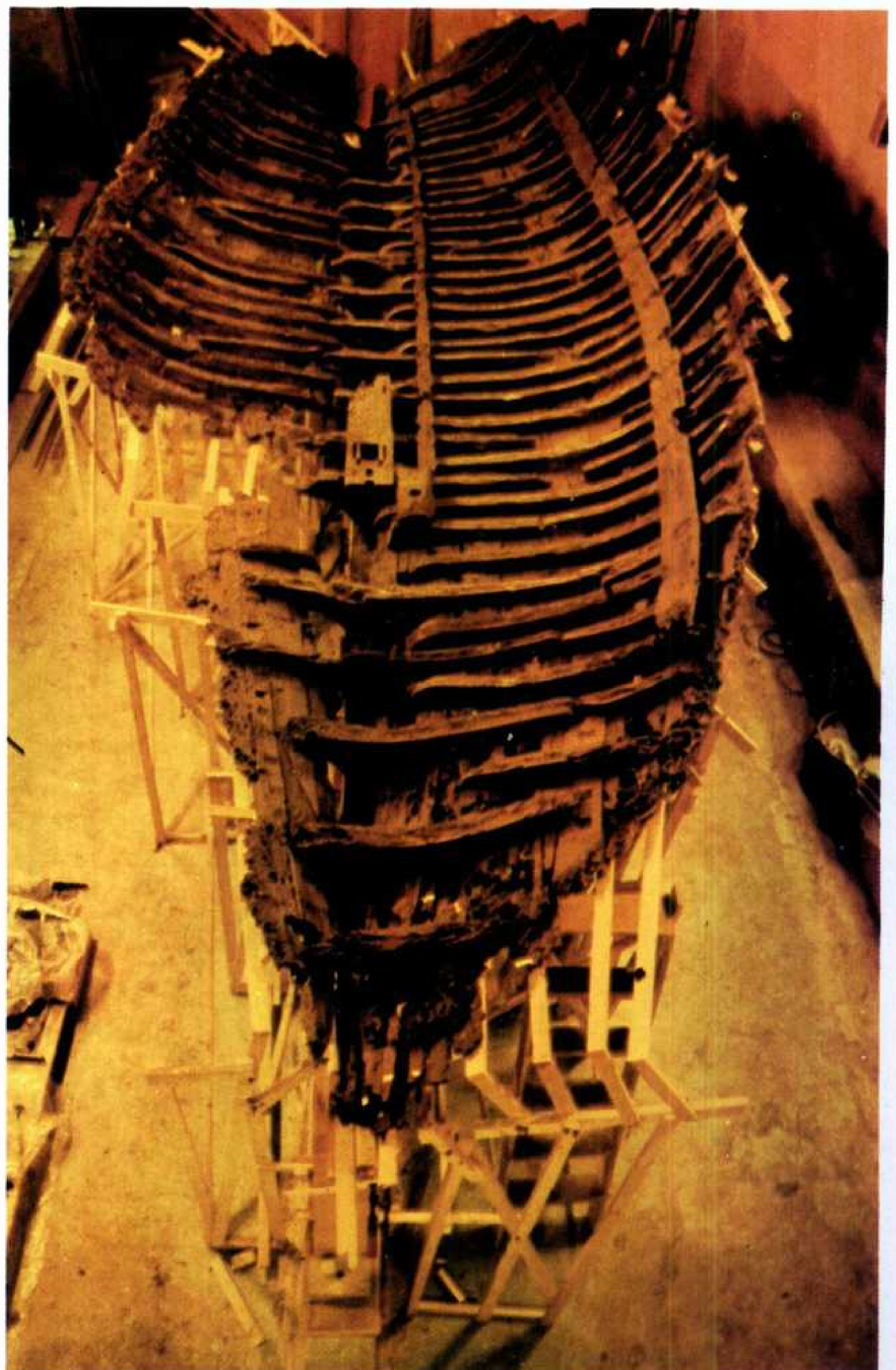
Para reconstruir un barco se requiere mucha ciencia y mucha intuición. Es una operación parecida a aquella a la que se dedican los paleontólogos cuando tratan de reconstruir un esqueleto fósil. A partir de elementos dispersos, a menudo sumamente deteriorados, incompletos, se intenta rehacer un conjunto coherente. Los arqueólogos, al igual que los paleontólogos, no actúan totalmente al azar: hoy día, sus respectivas ciencias han avanzado lo bastante como para permitirles no adentrarse mucho en pistas equivocadas. Pero es igual: a pesar de todos los libros existentes, de todos los catálogos, a veces no se puede por menos que vacilar y du-



dar. No todas las reconstrucciones consiguen la aprobación unánime de los especialistas: que a veces en términos más bien virulentos (aunque científicos siempre) discuten las interpretaciones de sus colegas...
Ante todo se clasifican, describen, miden y catalogan las diversas partes del pecio. Se anota cuidadosamente el emplazamiento que ocupaban en el sitio mismo del hallazgo, para poder interpretar la manera en que naufragó el barco, y el modo en que se ha desmoronado.
Tras someterlas al tratamiento adecuado, se examinan las piezas encontradas en el fondo. ¿Cómo estaban unidas a las piezas cercanas? ¿Tenían barniz, pintura en su superficie? ¿Cómo las han atacado eventualmente los organismos marinos? Todos estos elementos de informaciones permiten situarlas con mayor o menor precisión.
Los arqueólogos tantean, vuelven a empezar una y otra vez hasta que están seguros de que la disposición por ellos adoptada es la correcta.
Cuando llegan a la última fase de la operación —la reconstrucción física del pecio—, sienten como que han llegado a la coronación de su esfuerzo. Lo cual no deja de ser un acontecimiento poco frecuente. Para culminar el trabajo hay que pagar un elevado precio, y la arqueología no es una ciencia precisamente que goce de muchos créditos. La reconstrucción física de los barcos requiere no solamente de un importante equipo para llevar a cabo las tareas de restauración, sino también de locales para exponer lo recuperado, de personal para mantenerlo y eventualmente mostrarlo a los visitantes, etc. Casi se pueden contar con los dedos de la mano los pecios que se han reconstruido en su totalidad: están los barcos vikingos de Oslo en Noruega y de Roskilde en Dinamarca, el barco medieval de Bremen en Alemania, el antiguo barco mercante de Kirenia en Chipre, la nave real de Keops en Egipto, etc...
Se está igualmente restaurando el barco de Brown's Ferry en Carolina del Sur, la nave medieval de Serçe Liman en Bodrum, en Turquía, y la popa del barco de transporte *Batavia,* que comerciaba con las Indias Orientales, y que se descubrió en Freemantle, en Australia. Pero el más hermoso barco reconstruido hasta ahora sigue siendo el *Vasa,* en Estocolmo.
Los barcos restaurados deben ser objeto de un mantenimiento muy especial. Consolidados cuidadosamente, la madera es tratada de manera que resista a los factores de degración atmosférica (ácidos, etcétera), así como a los insectos xilófagos y a la acción de las bacterias. Pero si este mantenimiento cuesta caro, es innegable que se obtienen grandes beneficios en el campo del conocimiento. Especialistas de la marina e historiadores, teniendo ante sus ojos el barco entero, avanzan rápidamente en sus respectivas ciencias. El gran público, por su parte, que acude a admirar el barco en un museo, puede finalmente hacerse una idea concreta de cómo eran las embarcaciones de épocas pasadas.

La reconstrucción. *Resulta muy difícil reconstruir físicamente un pecio. Hay que comenzar por trazar el plano meticuloso* in situ *(en la página anterior, abajo); luego numerar y ubicar cada cosa (abajo, a la izquierda); finalmente, hay que reconstruir el conjunto (abajo, a la derecha: barco del cabo Quelidonia, tal como se ha podido restaurar). La reconstrucción física de un pecio se parece mucho a la labor de los paleontólogos cuando «fabrican» un esqueleto completo de un animal fósil a partir de osamentas dispersas halladas en el suelo.*





Los límites de una ciencia

Los pecios por descubrir y los ya localizados, pero que no han podido ser objeto todavía de excavación, obsesionan a los arqueólogos subacuáticos. Existen técnicas, ya desde hace tiempo, para estudiar (y rescatar) tales restos; pero el costo es muy elevado.
Para desbloquear la situación se necesitaría más iniciativa, tanto pública como privada. En este sentido podemos citar un buen ejemplo de colaboración entre un grupo de buceo privado y de universitarios. Giunio Santi, director del *Sub Sea Oil Services (S.S.O.S.)* de Milán, cuyos buceadores industriales ejercitan sobre todo sus aptitudes en las peligrosas aguas del mar del Norte, en las plataformas petrolíferas, dijo un día que el entrenamiento indispensable de sus hombres, en lugar de tener por objeto misiones teóricas, podría servir para algo más. ¿Por qué no ayudar a los arqueólogos submarinos? Entró, así, en contacto con el *Institute of Nautical Archaeology* (INA) de Texas, y de esta manera se puso en pie un programa de investigaciones original. Se decidió que los hombres de Giunio Santi se sumergieran frente a las costas de las islas Lípari (al norte de Sicilia), sobre un pecio del siglo III. La profundidad de 60 metros era perfecta para el entrenamiento de los profesionales.
Las investigaciones comenzaron en 1977. Para evitar todo riesgo de narcosis por nitrógeno, los buceadores utilizaron una mezcla respiratoria héliox (en la que el hielo sustituía al nitrógeno del aire).
Al verano siguiente, la misión fue considerablemente reforzada: se le añadió un potente barco de acompañamiento, con un material (especialmente una cámara de descompresión) que permitía inmersiones en saturación. Los hombres pudieron permanecer horas enteras sobre el pecio: subían a la superficie en su cámara presurizada, y no corrían peligro de embolia. Desde su cámara de ascenso pasaban a una cámara comprimida más amplia, en la que podían comer y dormir. Al día siguiente, siempre en saturación, volvían al lugar de exploración metiéndose en la cámara-ascensor. Permanecían una semana entera en compresión y, al cabo de este período, experimentaban una descompresión general que duraba más de una jornada. Este sistema de inmersión en saturación (experimentado por vez primera con las casas-bajo-el-mar del programa *Précontinent)* permite que los hombres trabajen a profundidades importantes durante varias horas al día, y ser muy eficaces al no experimentar más que una sola descompresión al final de su misión.
El director de las excavaciones, Donald Frey, y el arqueólogo Donald Keith, supervisaban los trabajos bajando cada día a bordo de un sumergible de dos plazas perteneciente a la *S.S.O.S.;* a veces se sumergían en una campana de buceo de una plaza. Podían igualmente darse cuenta de los trabajos desde la superficie gracias a un sistema de televisión submarina, y daban instrucciones a los buceadores por teléfono.
Otras misiones del mismo tipo pusieron también en común los esfuerzos de los arqueólogos y de los buceadores profesionales. Frente a las costas de Carolina del Norte, en Estados Unidos, los equipos de Gordon Watts y de John Broadwater trabajaron sobre un gran pecio utilizando una mezcla héliox y las técnicas de buceo en saturación, a profundidades comparables a las de la misión de las islas Lípari.
La primera batalla de acorazados de la historia tuvo lugar cuando la guerra civil americana. El barco sudista *Merrimac* era un barco de vapor de madera, transformado en buque de guerra por un reforzamiento exterior de piezas metálicas. El barco unionista *Monitor* había sido construido enteramente en metal, y proyectado desde el primer momento como acorazado de guerra. El *Monitor* se alzó con la victoria, que consagró la superioridad de los barcos de metal. Pero menos de un año después zozobró, víctima de una tempestad, a 50 metros de profundidad, frente al cabo Hatteras. Por lo demás, el *Monitor* está muy acompañado, pues no menos de 2.000 pecios importantes yacen en esos fondos, a los que se ha llamado el «cementerio del Atlántico».
El oceanógrafo John Newton y el arqueólogo Gordon Watts descubrieron el pecio del *Monitor* en 1973, utilizando el barco de investigaciones *Eastward* de la Duke University. Recibieron a bordo un ecosonograma favorable, y luego identificaron el barco gracias a las cámaras de televisión submarinas. En 1974 efectuaron un fotomontaje completo de los restos sepultados.
Los arqueólogos descendieron sobre el sitio del pecio a bordo de un sumergible, el *Johnson-Sea-Link,* perteneciente a la *Edwin Link*. Era un submarino «escupe-buceadores», del que salían con escafandra autónoma, respirando una mezcla héliox gracias a un narguilé (cordón umbilical). Los arqueólogos se relevaban así durante varios días en el fondo, lo que les permitió hacerse una idea exacta del estado del pecio, de su orientación, y de la forma de emprender el trabajo de recuperación propiamente dicho. Sin embargo, este último hasta ahora no se ha iniciado, pues para arrostrar esta misión larga y costosa, hay que reunir créditos sumamente considerables.





***Los medios subacuáticos.** Las excavaciones subacuáticas resultan caras, y requieren medios financieros y tecnológicos que no siempre están en relación con los créditos de que disponen los historiadores y los universitarios... Para paliar este inconveniente se necesita que arqueólogos y buceadores profesionales se alíen. Cuanto más modernos y sofisticados son los materiales empleados, más interesantes son las investigaciones. Pero pocos equipos científicos pueden pagar los servicios de un barco de acompañamiento, de un platillo buceador, de un submarino de bolsillo (arriba), de una cámara de descompresión, de una campana de buceo batiscópica (aquí, a la izquierda), etc. La principal limitación de la arqueología submarina no es en sí el mar mismo, sino lisa y llanamente el dinero.*

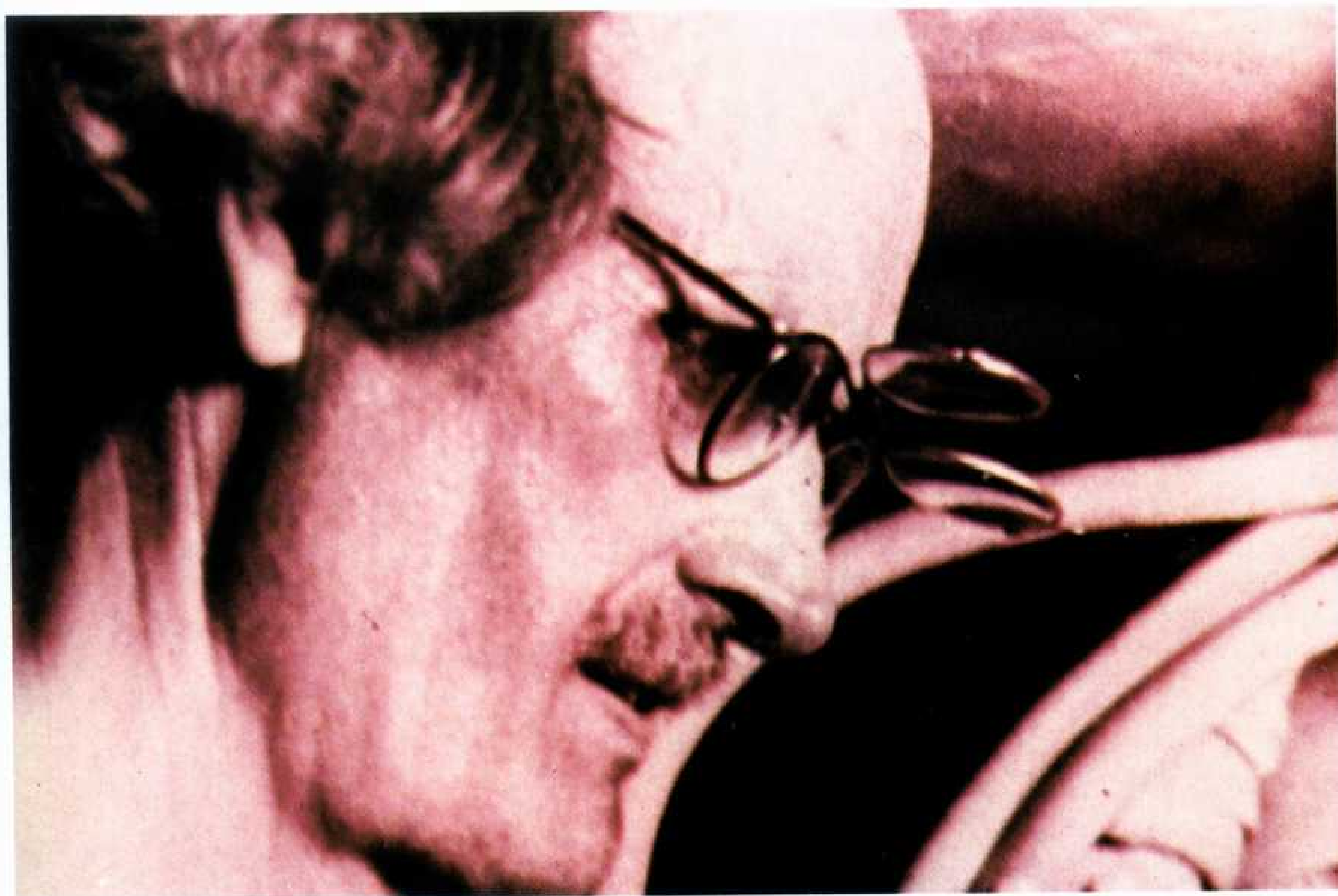
OBJETIVO —350

Monstruos marinos y máquinas infernales

CUÁNTAS veces se enfrenta la riqueza de la imaginación a la pobreza de la realidad cotidiana? Cualquiera de nosotros encuentra en ocasiones en sus sueños una satisfacción mayor que en su propia existencia. Algunos hombres se niegan a aceptar la realidad y pasan toda su vida encerrados en un mundo imaginario. Quieren preservar así sus sueños de la niñez. A la mayoría le basta con evadirse durante breves instantes mediante una película, un libro o los relatos de aquellos que han conocido experiencias únicas: exploradores, astronautas o místicos.

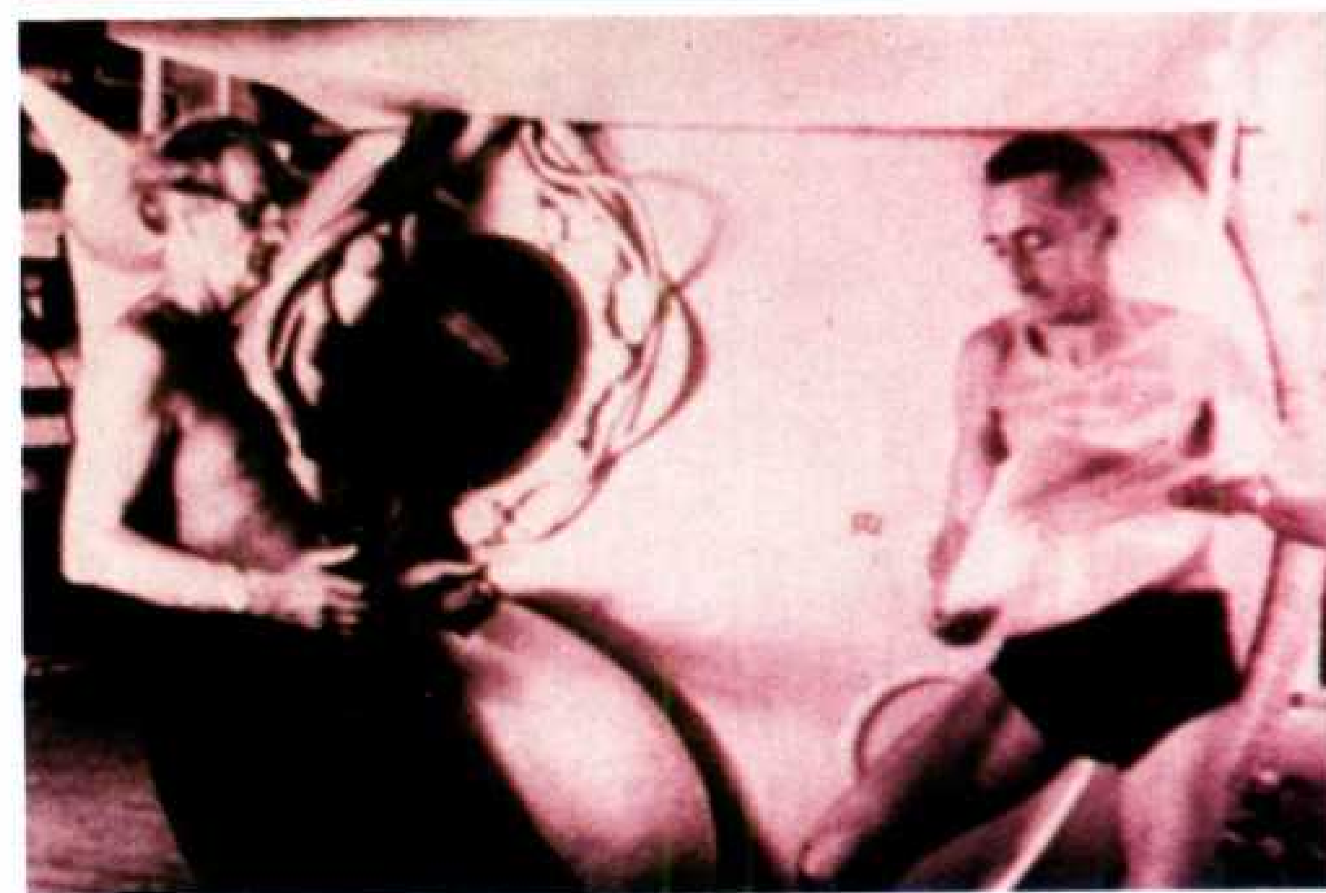
En lo que a mí concierne, creo que desde mi infancia hasta hoy nunca he sabido distinguir mis sueños de la realidad. Los acontecimientos más extraordinarios me parecen naturales, y sólo el razonamiento hace que me asombre y me maraville.

El mundo que ha surgido delante de mí durante mis inmersiones es mucho más sorprendente que todo lo que la imaginación de Julio Verne haya podido concebir. El inmenso mar esperaba desde hace miles de años que el hombre volviese a su seno. La leyenda cuenta que Alejandro Magno se sumergió en una campana de vidrio; desde este observatorio contempló monstruos marinos tan largos que cualquiera de ellos hubiera tardado en desenrollarse completamente cuatro días y cuatro noches. La historia relata que Leonardo Da Vinci diseñó los planos de un submarino, pero el toscano, tan sabio como genial, no quiso revelar a nadie su proyecto porque, como escribió él mismo, debía «tener en cuenta la maldad de los hombres, que cometen delitos hasta en el fondo de los mares». Los siglos siguientes vieron surgir toda una serie de increíbles máquinas submarinas; si hoy en día nos hacen sonreír, no hay que olvidar que muchas funcionaron bien, y que sólo la tesonería de los pioneros que fomentaron su construcción y sus ensayos han permitido los progresos de la tecnología en el siglo XX. Desde la galera submarina del holandés Cornelius Van Drebbel, construida en 1620, que estaba propulsada por doce remeros y provista de un tubo para la respiración, a la «bañera» de John Day, obrero inglés del siglo XVIII; desde la célebre «tortuga» del norteamericano David Bushnell, utilizada como medio de ataque submarino por los rebeldes americanos durante la Guerra de la Independencia, al sumergible de Robert Fulton, más conocido por haber perfeccionado el barco de vapor, ¡cuántas sorprendentes realizaciones!



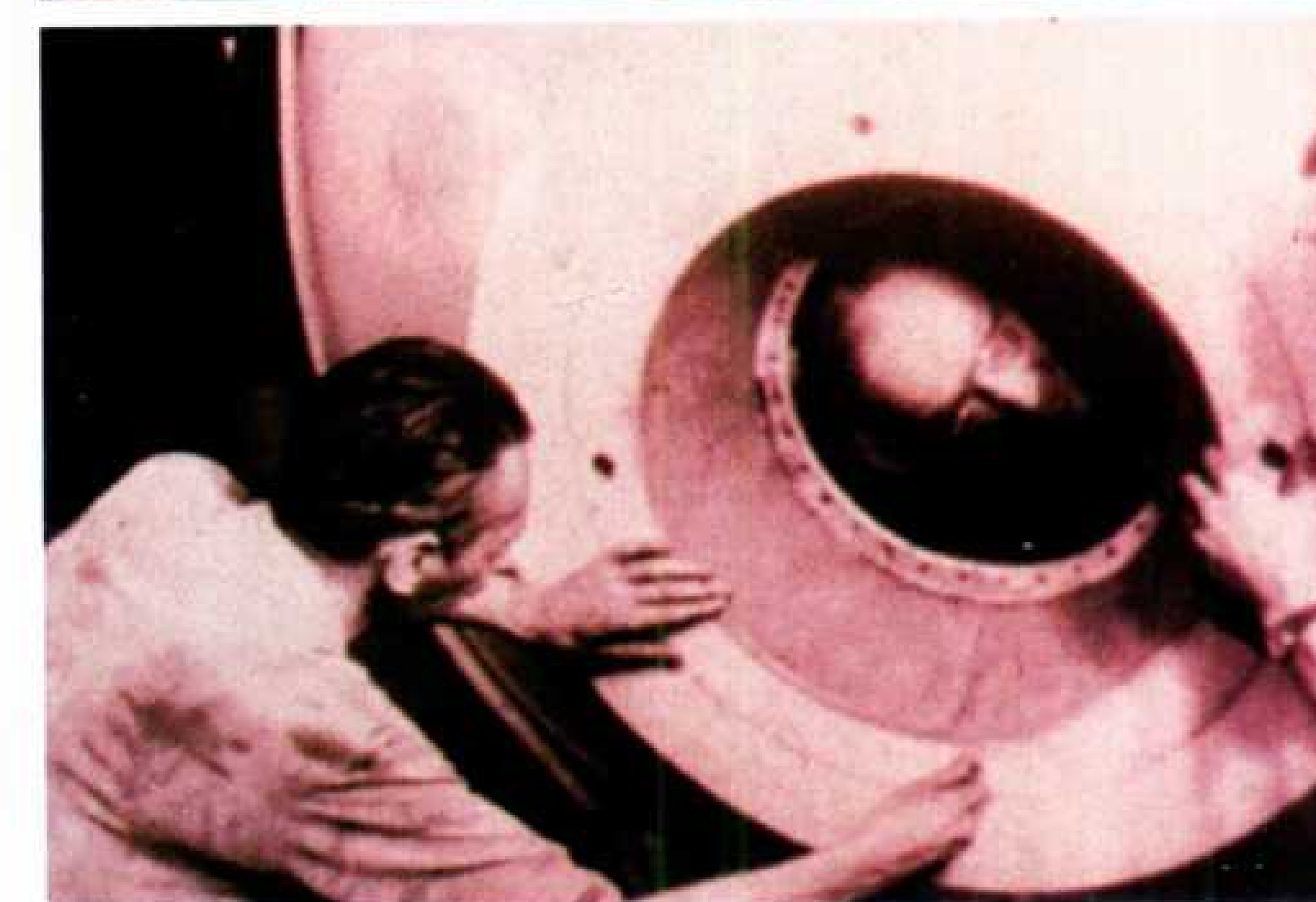
En 1948, Jacques-Yves Cousteau, deseoso de profundizar en el conocimiento del mar, fue encargado por la Marina nacional francesa para que siguiese como experto los experimentos del profesor Auguste Piccard a bordo del batiscafo FNRS-II. En alta mar, frente a las costas de Africa occidental, Cousteau vio funcionar este aparato, que describió como un «dirigible subacuático». En efecto, el batiscafo se hunde gracias a un lastre que suelta al llegar al fondo; vuelve a la superficie solo, por el principio de Arquímedes, *al ser su densidad inferior a la del agua, debido a sus flotadores llenos de gasolina. Arriba, una fotografía del profesor A. Piccard. A la derecha, entrada del profesor Piccard en el habitáculo del batiscafo. Página de la derecha: las fases de inmersión del aparato.*

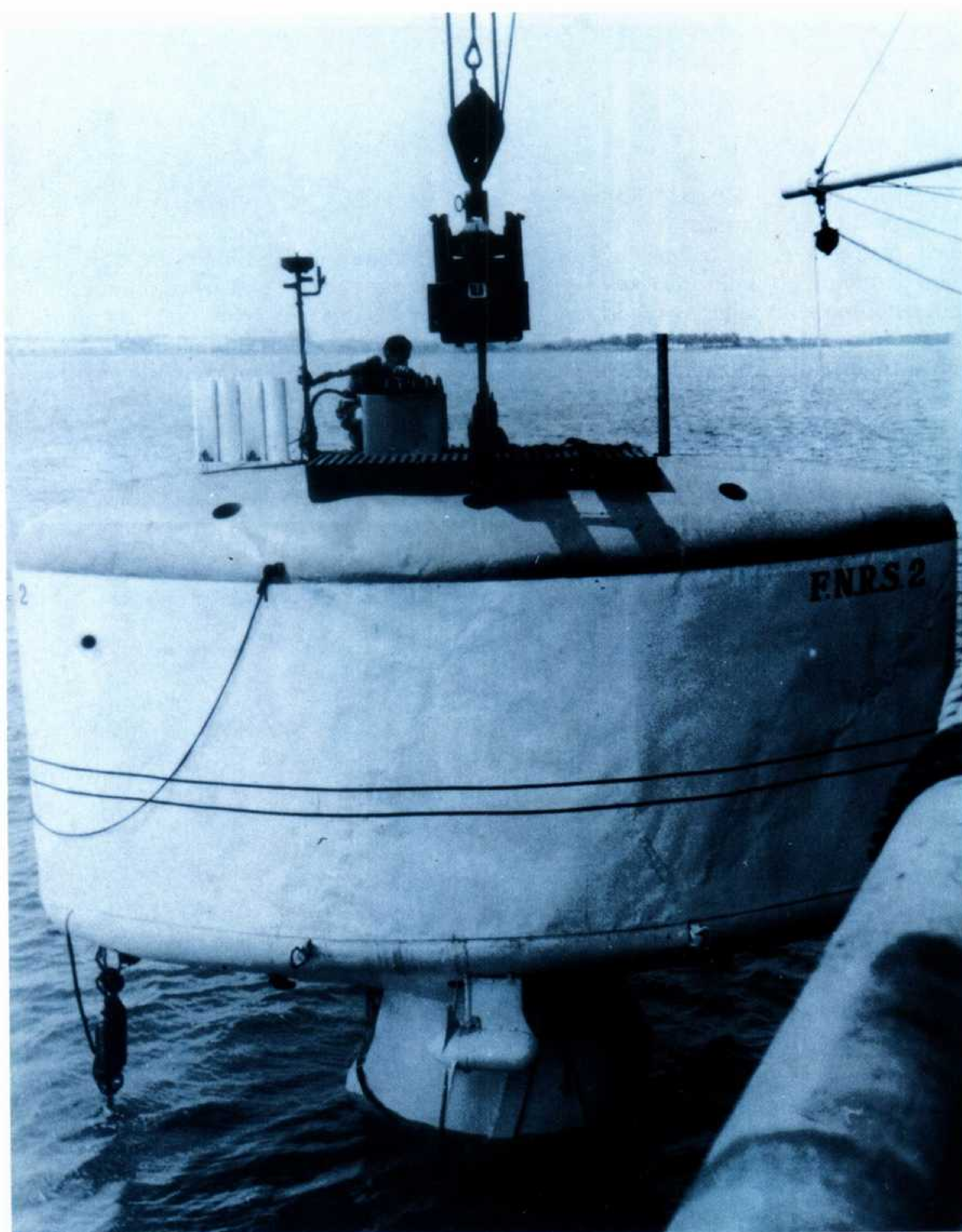


















Después, durante un siglo y medio, las investigaciones se orientaron hacia otros campos. En el transcurso de la Segunda Guerra Mundial se reemprenden los estudios y nacen los submarinos modernos. Pero estos instrumentos de muerte son incapaces de llegar a grandes profundidades y están mal adaptados para la observación. Por lo que a mí concierne, a partir de esta época resuelvo sucesivamente el problema del buceo independiente con la escafandra autónoma, el de la ilustración de los paisajes y organismos con las cámaras fotográficas y la televisión; dispongo de material sofisticado pero me falta un soporte. En 1956 decido construir el primer minisubmarino de exploración, el platillo submarino *SP-350*.

La construcción del platillo submarino

TRES hombres vestidos con monos de trabajo negros están inclinados sobre una especie de concha bivalva cerrada, cuyos caparazones —de tosca madera— reposan el uno sobre el otro. Es una curiosa concha de dos metros de diámetro por un metro y medio de altura. Alrededor, sobre la mesa, en el suelo, sobre las estanterías, hay cajas de cartón pintadas de extraña manera, rollos de cable eléctrico de diferentes colores, tubos de plástico, trozos de madera entre los cuales cuesta diferenciar los sobrantes de las tablas que han servido para la construcción de la estructura de los que van a tener una función propia.

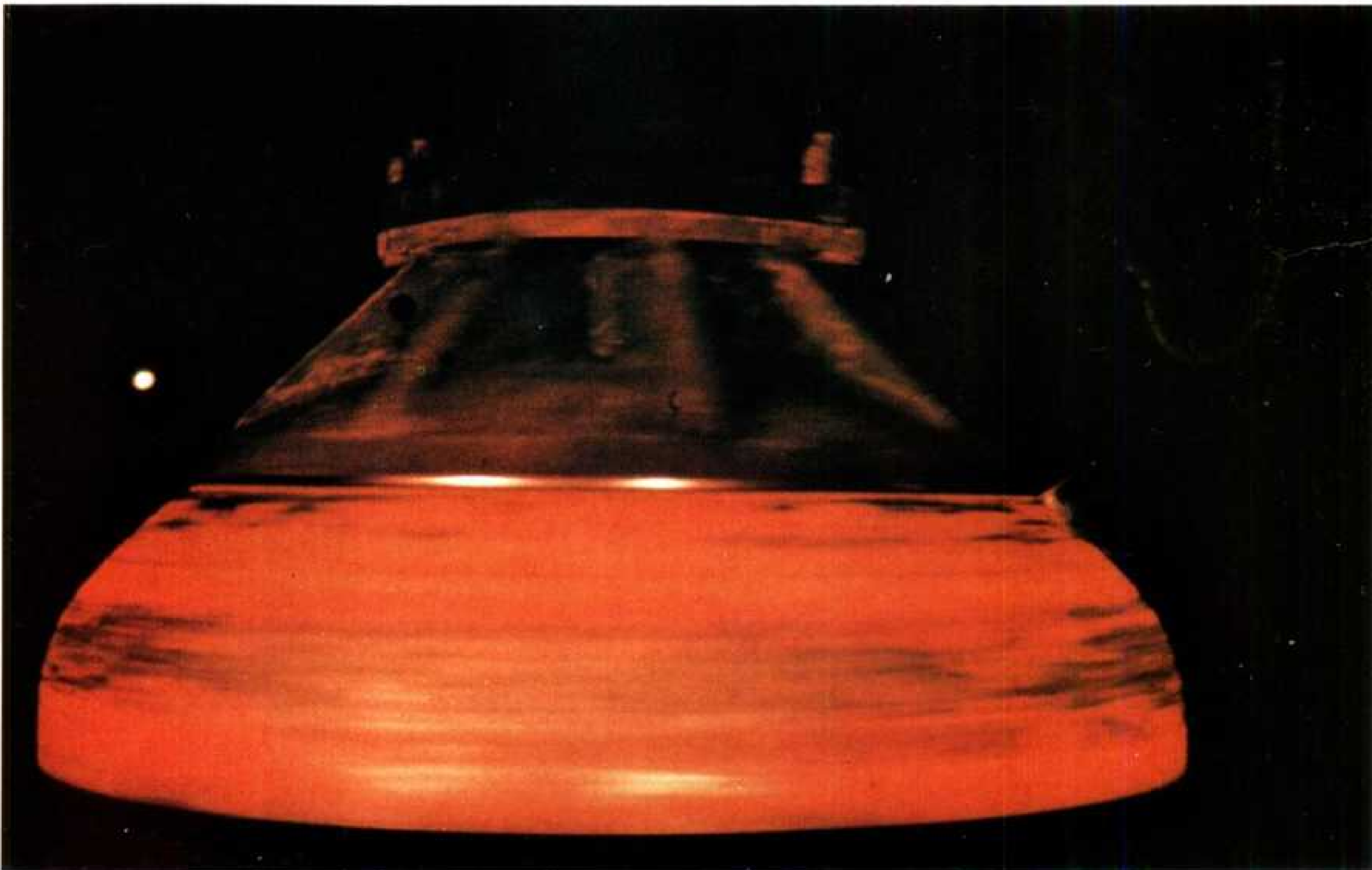
Luego, los tres hombres reúnen sus cofres, sus cables y sus tubos, y empiezan a colocarlos siguiendo una lógica que parece todavía incomprensible. Cada elemento tiene en el interior de la gran concha su propia función, poco a poco, el conjunto va tomando forma. Aquí no hay surrealismo. Tal vez, sólo algo de ciencia ficción. Este curioso aparato es una maqueta de un submarino biplaza, con forma de «platillo volante».

En este pequeño taller, situado en el número uno del *Quai de la Grande-Bigue,* en el puerto de Marsella, los ingenieros Jean Mollard, André Laban y Alexis Sivirine, ayudados por todos los técnicos del Consejo francés de Investigaciones Submarinas, trabajan siguiendo mis indicaciones en la maqueta del primer «platillo submarino». Estamos en 1957. Pronto empezaremos la construcción del prototipo y los ensayos en el mar. Al igual que la escafandra autónoma, había liberado al hombre de la gravedad y suprimido todos los lazos tradicionales de los buzos con la superficie, el platillo submarino bogará, como el batiscafo del profesor





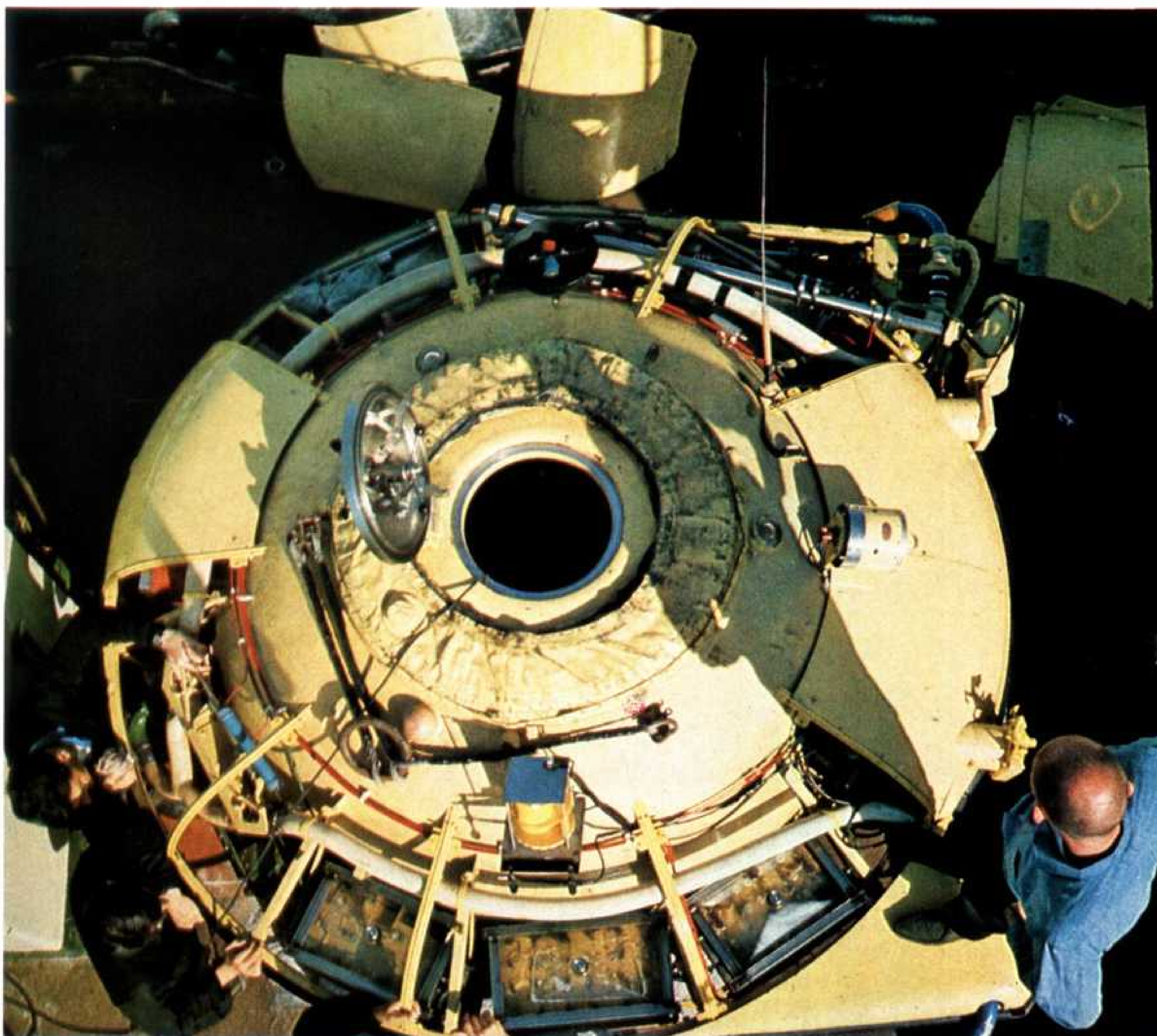




La construcción del platillo submarino SP-350, *cuyo realizador fue la OFRS, comenzó en 1956 para finalizar en 1959. Fue el primer minisumergible del mundo. El platillo submarino consta principalmente de dos hemisferios aplastados, cuya fase de fabricación vemos en esta página. Página de la derecha: maquetas tamaño natural. Abajo: el montaje.*









Piccard, en las tres dimensiones del océano, hasta 350 metros de profundidad. Verdadero submarino de bolsillo, este platillo, el *SP-350,* es original por más de una razón: para empezar, su forma lenticular, que recuerda la manera como se representa a los OVNI en los *comics,* tiene como finalidad facilitar sus evoluciones en todas direcciones y evitar, gracias a su carenado liso que no presenta ninguna protuberancia, cualquier posibilidad de quedar enganchado. Además, su sistema de propulsión por chorros de agua nos permite no sólo suprimir las hélices que pueden enredarse en algún cabo y poner en peligro la nave, sino que nos dan una incomparable maniobrabilidad, ya que las toberas pueden pivotar en un ángulo de 270º, ejerciendo así un empuje en cualquier sentido. Este tipo de propulsión mediante chorros de agua ha sido adoptado por muchos animales marinos, entre ellos: el pulpo, el calamar, la sepia, el nautilus, etc. El platillo puede inclinarse hacia delante o hacia atrás, por medio de un contrapeso de mercurio que se desplaza de proa a popa gracias a una bomba, empleando sólo unos segundos. ¿El piloto?: Albert Falco. Pasa de buceador a ser el comandante del platillo. En efecto, para obtener el máximo rendimiento del aparato, el piloto debe ser un buzo con gran experiencia del medio marino. Irá tumbado boca abajo sobre una de las dos literas de goma espuma del fondo del platillo, con la cara frente a una ventanilla que le proporcionará buena visión. A su izquierda se encuentran varios mandos:,dos de ellos son hidráulicos y hacen girar los chorros de agua en un ángulo de 270º. Delante, una palanca funciona de timón al controlar la distribución del flujo de agua a presión en cada tobera. Por fin, a su lado, el mando de un brazo telescópico, cuya extremidad lleva una lámpara de 2 kW para iluminar selectivamente una zona en particular; a la derecha, el mando del motor de propulsión con dos velocidades, el del lastre de mercurio, la palanca de maniobras de una pinza que permite tomar muestras y los interruptores de las lámparas interiores y de los proyectores exteriores. En la zona derecha, también, el dispositivo para soltar los dos lastres de hierro: el primero, al final del descenso; el segundo, al comenzar la emersión. A la derecha del pasajero está situada la gráfica de la ecosonda de tres direcciones.

Por último, detrás del piloto y a su izquierda, una palanca permite soltar un lastre de seguridad de 200 kilogramos. Además de los instrumentos de pilotaje, el platillo dispone de equipos fotográficos y cinematográficos y de dos teléfonos; uno de ellos para utilizar en superficie y el otro en inmersión. ¡A Falco no le quedará mucho tiempo para soñar! Sin embargo es patente su alegría: gracias a él vamos a ampliar nuestro horizonte submarino, explorar nuevos mundos, observar animales desconocidos y cubrir una nueva etapa en la conquista del mar.

Primeros ensayos en el mar

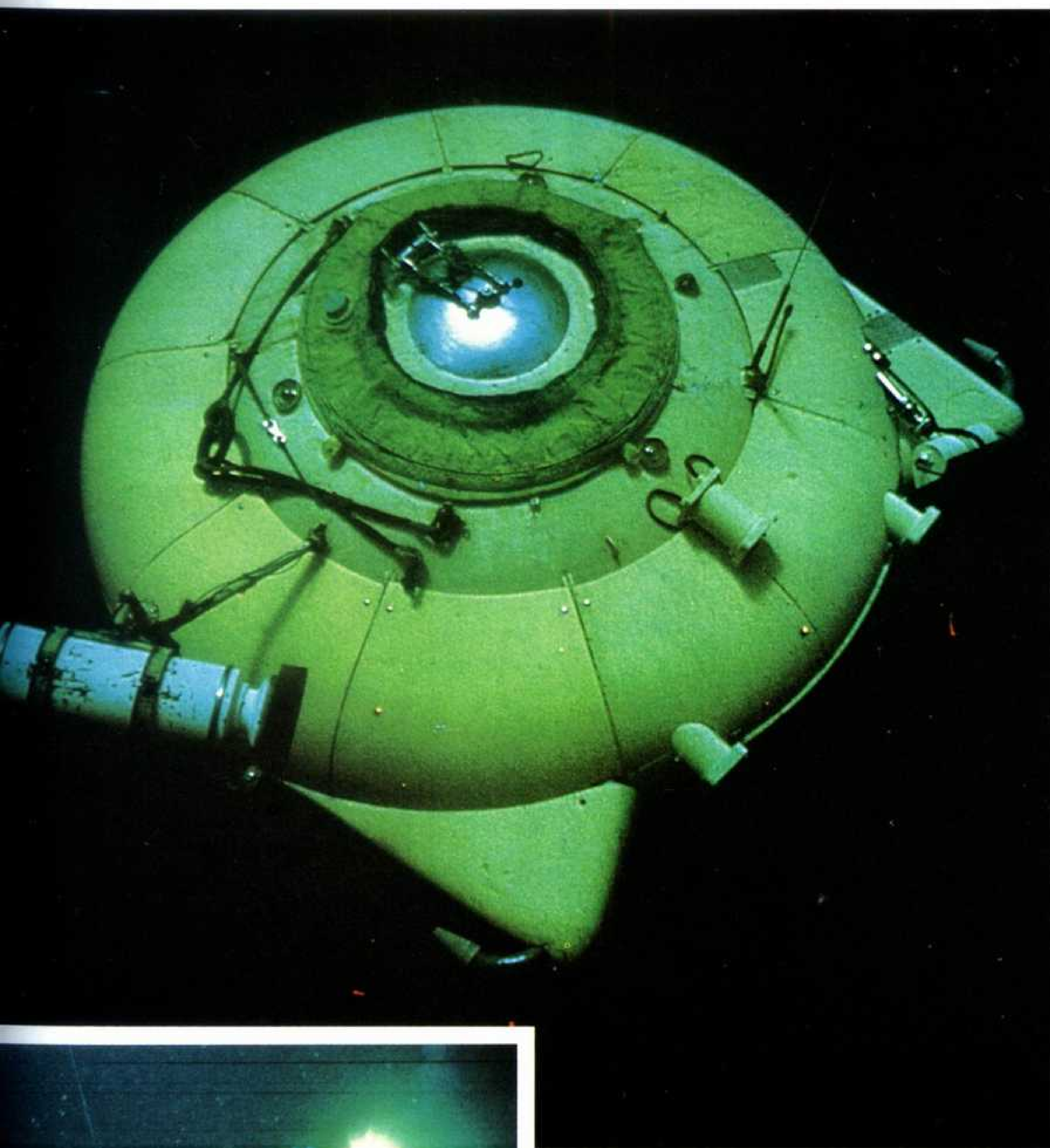






DÍA 21 de julio de 1959. El puerto de Marsella registra una actividad mayor que nunca en esta época del año. La presencia de los turistas aumenta aún más el alboroto, la confusión y la diversidad de colores y olores que han hecho célebre esta antigua colonia fenicia en el mundo entero. Para nuestro grupo, este día marca una fecha histórica: el bautizo del platillo *SP-350*. Los bomberos de la Marina vigilan en la rada, aunque estamos seguros que todo transcurrirá bien. La estabilidad de nuestro aparato parece perfecta y los mandos funcionan. Pero antes de pilotar correctamente este nuevo equipo habremos de hacer sin duda numerosas pruebas: su estabilidad en el mar sigue siendo por el momento prácticamente imprevisible. Descubrimos de esta manera que, a pesar de sus 250 kilogramos de lastre, el platillo sigue siendo demasiado ligero. Tendremos que añadirle peso, y me alegro: el margen de seguridad será así mayor. Un solo incidente, sin gravedad: se quema el motor de la bomba de achique.

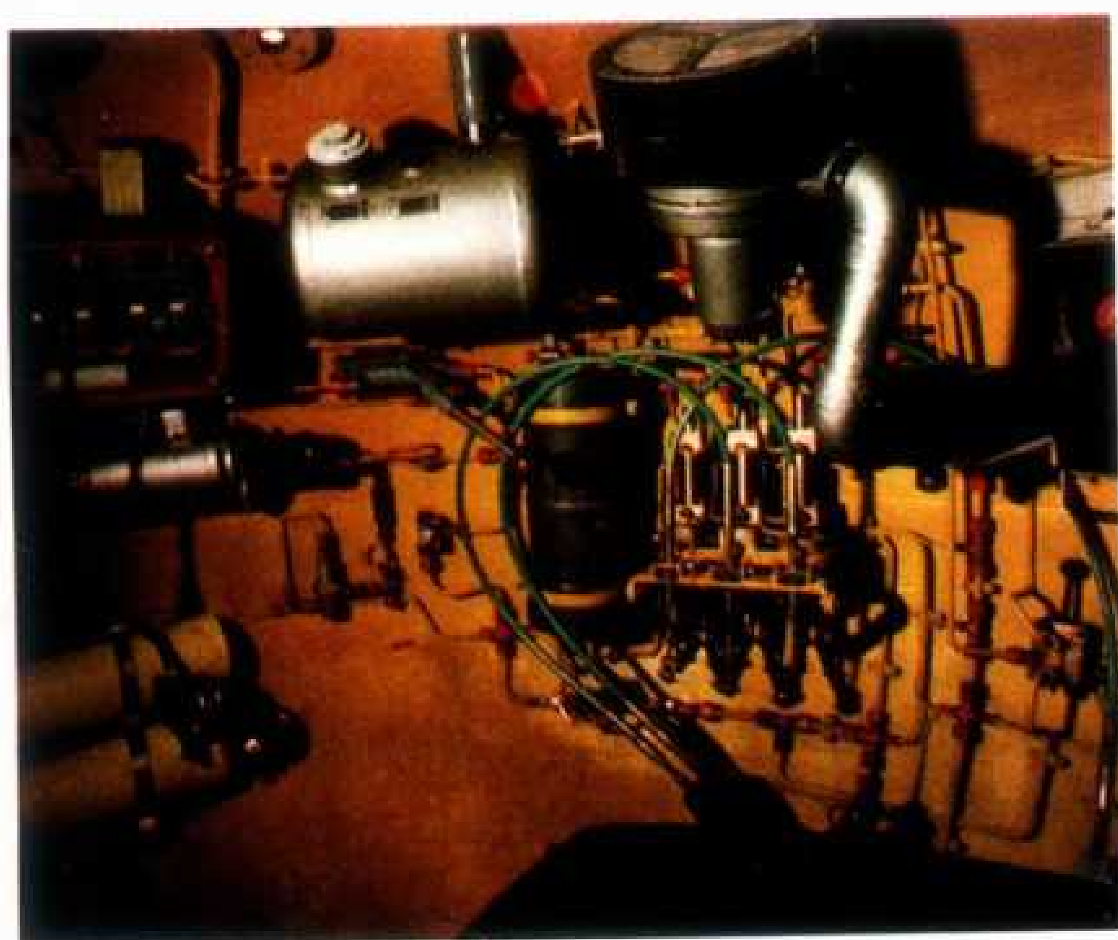
Un éxito, por tanto, seguido de un semifracaso, en el segundo ensayo de inmersión realizado en la ensenada de Frioul. La escotilla que cierra la entrada hace agua y los dos pasajeros salen del *SP-350* después de recibir una buena ducha... Nada trágico en todo esto; sin embargo, dos años antes habíamos rozado la catástrofe. Probábamos por aquel entonces la resistencia a la presión de nuestro aparato. Aquel 19 de marzo de 1957, el cable de acero que sujetaba el casco vacío —pero lastrado— del futuro submarino se rompió en el transcurso de la subida. Desde el torno, el cable pasaba por una polea en la punta de la grúa del *Calypso*. En el momento de la ruptura, el cable barrió la popa como un gigantesco látigo de acero; pudo haber matado a varias personas, pero tan sólo resultó herido Raymond Coll, que todavía conserva la marca de este accidente: una cicatriz en la mejilla izquierda. Habíamos perdido nuestro platillo, que se hundió a más de 1.000 metros de profundidad, llevándose

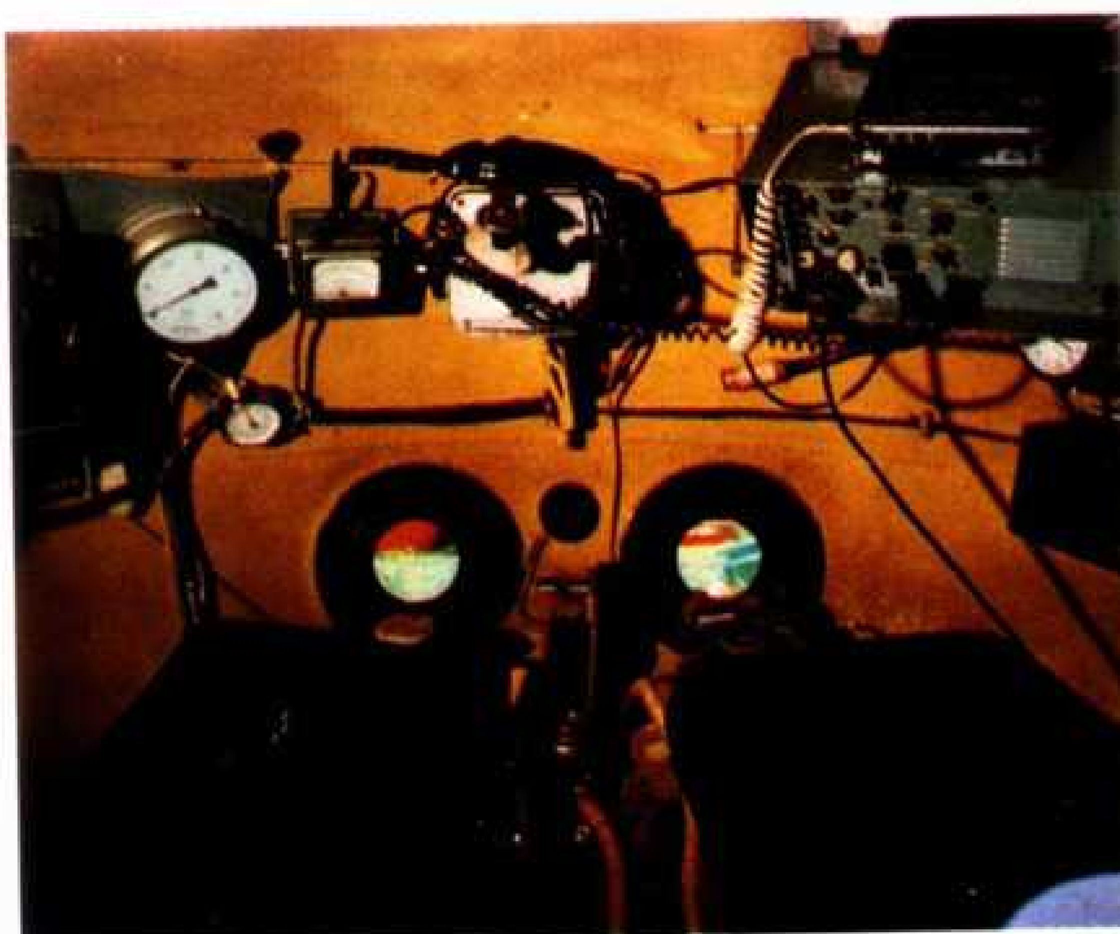




La puesta a punto del platillo submarino SP-350 *precisa de una serie de ensayos efectuados en alta mar y sin ningún tripulante en el interior. En uno de ellos, en 1957, el cable que sujetaba la máquina se rompió, y la pérdida del prototipo conllevó un retardo del programa de varios meses. Página de la izquierda: la esfera de ensayo es embarcada en Marsella y después sumergida. En la página de la derecha, arriba y abajo: el platillo trabajando.*

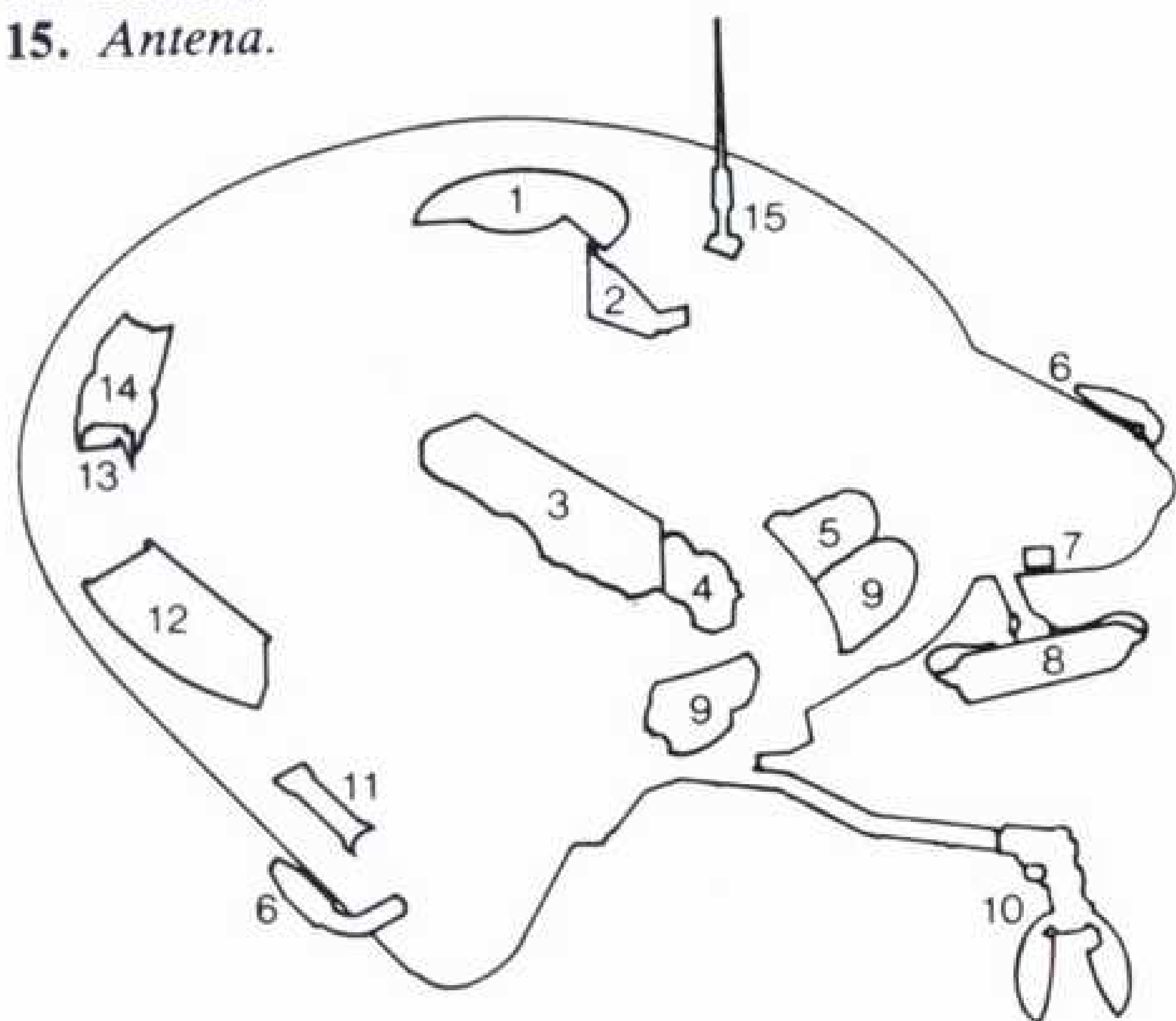
con él todos los instrumentos que debían medir las deformaciones provocadas por la presión. El programa sufrió un retraso de varios meses, tiempo necesario para construir un nuevo casco. Por fin llegamos al final de nuestros esfuerzos. Embarcado en el *Calypso*, el *SP-350* se prepara para realizar sus primeros ensayos importantes en el Cabo Rojo, en Puerto Rico. Día 9 de octubre de 1959, 3 h. 15 min. de la tarde. Falco y Mollard han cerrado la escotilla de entrada y desaparecen en el agua. Para mayor seguridad, un cable les une aún con la superficie. No me atrevo a liberar el platillo hasta que no haya demostrado su completa fiabilidad. Toda la tripulación del barco observa la operación. La inmersión durará poco tiempo y no sebrepasará los 16 metros de profundidad. Empieza mal, sin embargo; el aparato está escorado a babor y a Falco le cae el magnetófono sobre la cabeza. A las 15 h. 40 min. el submarino llega al fondo, pero el regulador de oxígeno funciona mal y la presión interna aumenta de forma anormal. Falco prueba el sistema de propulsión mediante chorros de agua, desplaza los panes de plomo para corregir el escoramiento, intenta varias maniobras sobre los corales y las gorgonias, consiguiendo por fin posarse sobre un fondo completamente llano. Luego inicia la subida, controlándola para que se realice lo más despacio posible. Cuando se abrió la escotilla, la presión era tal que el aire se escapó emitiendo un sonoro pitido. Los dos pasajeros aparecieron entonces algo mareados y con un ligero dolor de cabeza. Falco tiene, no obstante, buenos recuerdos de ese día; podemos leer en su diario: «Día memorable; al contarlo, me parece aún estar soñando.» Los ensayos se llevan a cabo a partir de entonces a profundidades cada vez mayores. El 25 de octubre, en el islote Pigeon, en la isla de Guadalupe, Falco y «papá Flash», el profesor Harold Edgerton, del *Massachusetts Institute of Technology,* alcanzan con el platillo los 70 metros. Buceando, me preparo para filmar la subida. Falco suelta el lastre de seguridad; de pronto, una explosión, seguida de otra más. Me acerco a un ojo de buey: todo va bien. Los dos hombres siguen estando perfectamente tranquilos. Sólo leo en sus caras cierta perplejidad e incomprensión. ¿Qué ha pasado? El platillo es izado a bordo. Hablo con mis compañeros por teléfono durante las últimas maniobras previas a la apertura de la escotilla. De repente, Falco me dice con su voz imperturbable: «Abrid rápido, hay fuego.» En cuanto los pasajeros se hallan fuera, nos damos cuenta de que una de las dos baterías ha estallado; un cortocircuito ha provocado una fuga de oxígeno e hidrógeno y ha originado el incendio. Felizmente, los acumuladores van fijados al exterior del casco. Cambiamos las baterías por un juego nuevo. Más tarde, en las islas de Cabo Verde, me sumerjo con Falco para realizar un ensayo a −100 metros. Bajamos con una perfecta regularidad. El manómetro indicador de profundidad marca rápidamente el tope que nos habíamos fijado; nos alegramos ya de nuestro éxito..., hasta que una nueva explosión hace temblar el platillo, que se vuelve más pesado. El indicador de profundidad se ha averiado, pero aun así nos damos cuenta de que nos hundimos rápidamente. Suelto el lastre de seguridad; un momento de indecisión que nos parece una eternidad, y, por fin, empezamos a subir. De vuelta a Marsella, estudiamos este delicado problema de las baterías. Vamos a tener que abandonar el cadmioníquel para volver a un modelo más tradicional. Desde la época de estas memorables peripecias, nuestro platillo ha llevado al fondo del océano a geólogos para observar el inicio del talud en el borde de la plataforma continental, a cineastas para rodar sus películas, a técnicos para estudiar los fondos y a biólogos para explorar las comunidades bentónicas. Acompañando a Albert Falco, «Canoé» Kientzy y luego Raymond Coll se perfeccionaron como pilotos. Yo mismo he conducido esta máquina, que ha rebasado con éxito los 1.050 inmersiones.







1. *Escotilla*
2. *Cuadro de controles*
3. *Lastre*
4. *Aparato fotográfico*
5. *Estabilizadores de mercurio*
6. *Propulsores mediante chorros de agua*
7. *Flash*
8. *Proyector de 2 kW*
9. *Ojo de buey de observación*
10. *Pinza de muestreo*
11. *Pistón hidráulico para dirigir los chorros de agua*
12. *Baterías*
13. *Motor eléctrico*
14. *Bomba*
15. *Antena.*

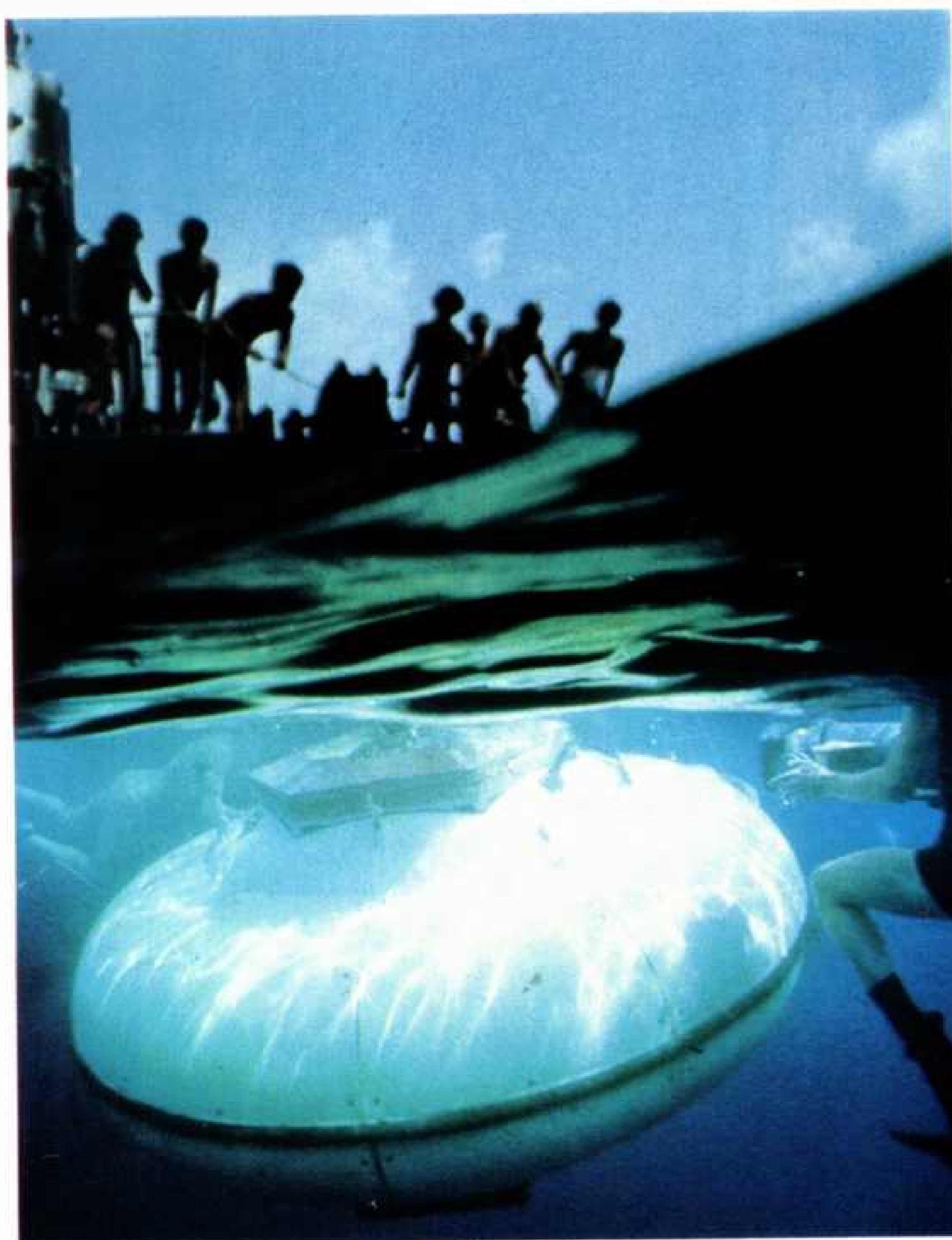




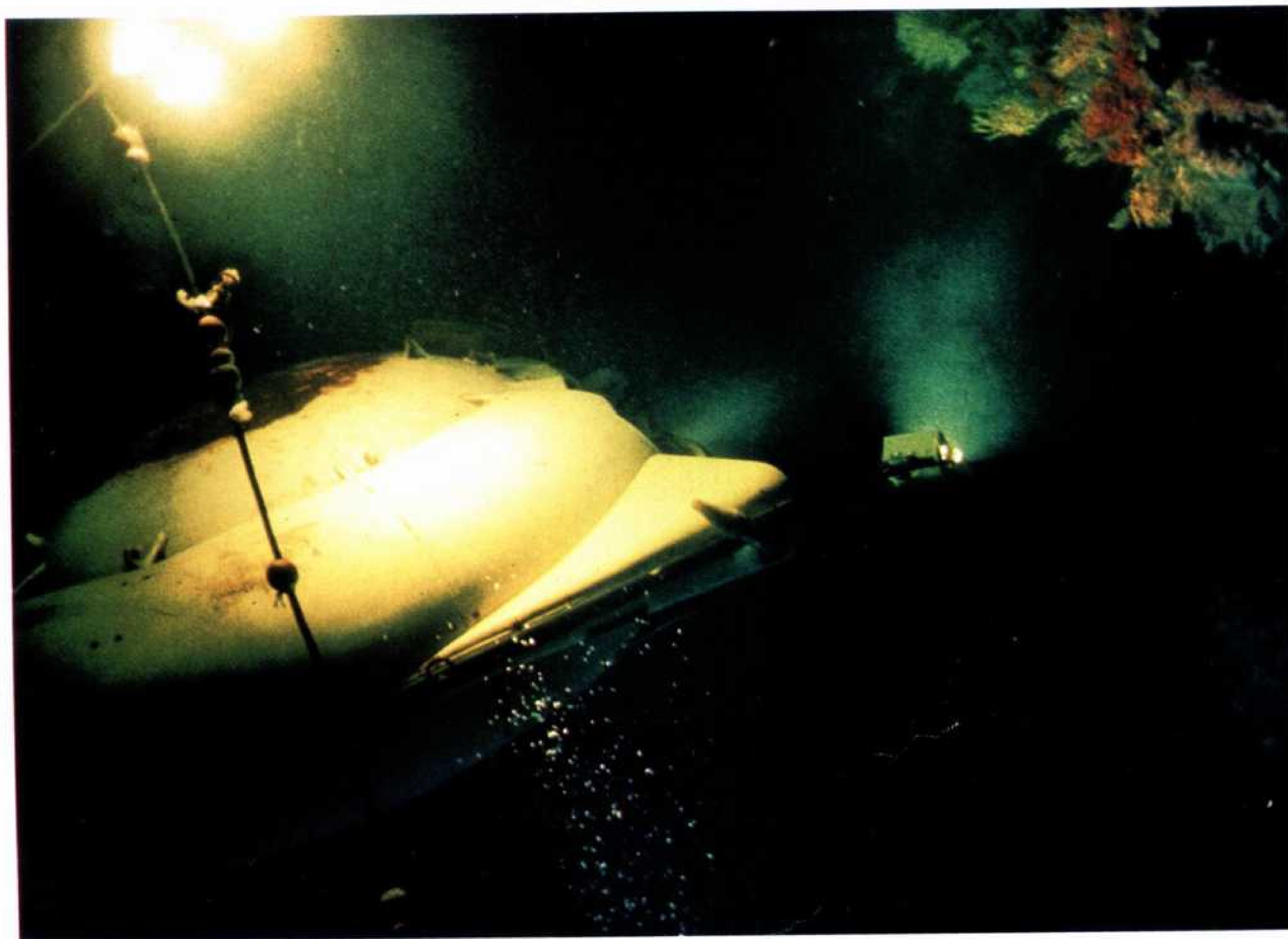


El funcionamiento y las características técnicas del platillo submarino SP-350 *lo convierten en un aparato de exploración ideal para profundidades medias —hasta 350 metros—. Los reconocimientos submarinos se han visto ampliamente facilitados por él, y la intervención humana se hace posible por debajo de los –100 metros, que representan prácticamente el límite de trabajo para los buzos. Las paredes del aparato son de acero y tienen un espesor de 19 milímetros. Las dos medias esferas que lo componen tienen dos metros de diámetro y, juntas, un metro y medio de altura. Los dos pasajeros van tumbados en el habitáculo y disponen cada uno de una ventanilla que les permite un campo de visión de 90° de amplitud. Los dispositivos propulsores se encuentran en el exterior del casco, en un carenado de plástico por el que circula libremente el agua de mar. La propulsión y la dirección se realizan mediante chorros orientables: el agua, bombeada por un motor, es expulsada a voluntad del piloto.*

Con el platillo dentro de un volcán



HAN pasado ya ocho años desde que realizamos las primeras pruebas con el platillo submarino. Hoy forma parte de la «fuerza de intervención subacuática» del *Calypso*. Falco, Kientzy, Coll, Philippe Cousteau y yo aprendimos a pilotarlo perfectamente. Cada vez que lo exige el éxito de nuestras misiones científicas o cinematográficas lo sacamos de su hangar de proa, lo enganchamos a nuestra grúa y lo sumergimos en el mar. Desde que modificamos sus baterías, no hemos tenido ningún incidente bajo el agua. En 1979 sobrepasamos la inmersión número mil. El programa de exploración que queríamos llevar a cabo aquel día estaba consagrado al estudio de un relieve submarino que culmina a 33 metros de profundidad y a 21 millas (sector 330) de la isla volcánica de Djebel Teïr,



La botadura del platillo submarino, aunque forma parte desde hace tiempo de la rutina, constituye un momento emocionante. Gracias al SP-350, *los buceadores del* Calypso, *acompañados a menudo por científicos, han explorado cientos de parajes submarinos inaccesibles por otros medios: arrecifes de coral, cañones sumergidos, acantilados costeros barridos por violentas corrientes, cráteres volcánicos inundados, etc. Todas las disciplinas de la oceanografía se han beneficiado de su utilización.*





en el mar Rojo. En realidad, nuestros ecosondeos han demostrado que esta cumbre sumergida se prolonga mediante una plataforma circular, situada a 42 metros, y que ésta da a un abismo de 1.200 metros que excita nuestra imaginación. Esta estructura nos recuerda a la de un *guyot*, como los que existen en el Atlántico y el Pacífico. Según los especialistas, los *guyot* (llamados así por el nombre de un geólogo suizo) podrían ser el resultado de una acumulación de materiales magmáticos, debida a un volcán submarino. La erosión del agua, una vez finalizada la actividad eruptiva, les darían este aspecto de mesas sobreelevadas. Esta hipótesis ha sido confirmada parcialmente por la toma directa de muestreos, realizada ya en el siglo pasado: hay realmente basalto en estas montañas. Pero todavía no se ha explicado su proceso de formación; podría darse el caso de que, además del vulcanismo, esté también implicada la actividad constructora de los corales. Con la esperanza de comprender mejor este proceso de formación, Falco y yo penetramos en el platillo submarino. Nos situamos rápidamente sobre la plataforma sumergida. Comenzamos a bajar siguiendo las abruptas paredes. Para guiarnos, accionamos la bomba de agua: este sistema basta para colocarnos en la dirección deseada. Los fondos tienen poca vida; me recuerdan un poco a los que fotografiamos con la *troïka* en el banco Ampère, en el Atlántico. Aunque el agua esté muy clara, la luz del día empieza a debilitarse. Aquí y allá algunos peces nos llaman la atención: lábridos, peces-cirujano, maragotas. Me hubiera gustado detenerme para seguir sus movimientos, pero hay que saber escoger. Continuamos bajando. Ahora, una violenta corriente nos empuja hacia la pendiente. A 200 metros de profundidad se interrumpe nuestra deriva. Aprovecho para empezar a tomar fotografías. En una falla podemos entrever un laberinto de fisuras con grandes formaciones de esponjas y gorgonias de vivos colores. Pero debemos tener mucho cuidado. Cada descubrimiento nos atrae espontáneamente a Falco y a mí. Aquí, por ejemplo, hay una fina y pintoresca aguja de roca. Si la tocamos puede romperse y dañarnos al caer sobre el platillo submarino. Empezamos a explorar el arrecife a media pendiente. Una auténtica diversión. Cada vez que franqueamos una cresta nos encontramos con corrientes contrarias que nos hacen saltar hacia arriba o hacia abajo. Nos reímos de este juego impuesto. Pero aquí cambia el paisaje. Penetramos en un hemiciclo regular, de unos 100 metros de radio, invadido por arena negra. Es un espectáculo siniestro y grandioso al mismo tiempo. Al intentar yuxtaponer en mi mente las pequeñas porciones de paisaje que la exigüidad de nuestros ojos de buey nos ha permitido ver, me doy cuenta que nos hallamos realmente en un viejo volcán del que no queda más que la mitad. Me imagino la vieja tragedia de la explosión del volcán. Ahora se ha convertido en el hábitat de un gran número de atunes y tiburones.

Al subir conservamos todavía la extraordinaria visión de un volcán hundido; pensamos también en las fuerzas gigantescas que separan lentamente la península Arábiga de Africa, creando, de esta manera, una zona de fractura en la que abundan los volcanes y que ha dado origen al mar Rojo. Por otra parte, me agrada imaginar la fisonomía que poseerá esta región dentro de algunos millones de años, cuando el mar Rojo se haya ensanchado y presente la amplitud de un gran océano.



Mil inmersiones en platillo

HOY, el platillo ha realizado más de mil inmersiones. En esta ocasión relataré las impresiones de su primer y mejor piloto, en la época en que estaba aprendiendo a pilotarlo, a conocer sus reacciones, a asimilarlo hasta el punto de sentirlo como parte integrante de su propio cuerpo.

Falco anotaba en su Diario: «El platillo reacciona más o menos como una bola de billar; tiene tendencia a girar sobre sí mismo. Si quiero dirigirme hacia un punto concreto, debo, además de apuntar hacia él, prever el comportamiento realmente extraño de mi máquina, e incluso calcular instintivamente el retraso que tendrá al realizar la maniobra que voy a efectuar. La conducción de este pequeño submarino recuerda un poco a la de un carro de combate, aunque es más difícil, ya que, a diferencia de este último, presenta una gran inercia: si doy un nuevo impulso al motor, sigue avanzando algún tiempo en la dirección que llevaba anteriormente; sólo obedece pasados unos momentos. Hay que pilotarlo pensando previamente las maniobras. Este esfuerzo constante de imaginación es a la larga muy cansado. Supone una continua tensión cerebral. Una regla de oro a respetar: no ponerse nunca nervioso y reaccionar suavemente a los caprichos de esta máquina extremadamente sensible, a cualquier modificación de su velocidad o de su orientación. Me veo frenado o alejado de mi ruta sólo con rozar una gorgonia. Puede ocurrir que al bordear una pared rocosa choque contra ella o simplemente la toque; el platillo nota inmediatamente el golpe, cambia de dirección, sube o baja».

Seis años más tarde, Falco se había convertido en un piloto excepcional. A bordo del platillo submarino estuvo encargado de todo el trabajo de prospección y apoyo a los oceanautas, a lo largo del programa «Precontinente III». ¿Su papel? Buscar a 100 metros de profundidad el emplazamiento mejor adaptado a la instalación de la casa de acero, frente al Cap Ferrat, y velar, posteriormente, por las diferentes etapas de esta instalación.



Mil exploraciones en todos los mares del mundo. Abajo: en la Antártida, con objeto de estudiar la parte inmersa de los icebergs. Página de la derecha, arriba: en el Mediterráneo, sobre el lugar del antiguo pecio de Anticythère. Abajo: captura de un crinoideo de gran tamaño, con ayuda de la pinza articulada, y estupefacción de los pescadores indígenas ante el sumergible.





Desde su pequeño submarino dirigió por teléfono las operaciones de superficie, encaminadas a bajar y a posar la esfera en la que ya se hallaban seis hombres; sin él, estas maniobras habrían sido si no imposibles, por lo menos terriblemente complejas y peligrosas.

Hemos bajado con el platillo a grandes profundidades bajo los hielos del Antártico, con el fin de descubrir vida: anémonas, ascidias, calamares, ofiuros, anélidos, estrellas de mar, corales blancos y peces transparentes. Gracias a él hemos podido admirar, desde el fondo, los icebergs iluminados por el sol: una visión fantástica.

En 1960, el platillo me llevó a 300 metros de profundidad en el Golfo de Ajaccio, para estudiar los cañones que surcan la plataforma continental. Al año siguiente fue reclamado por varios organismos científicos: transportó, entonces, bajo el mar a geólogos, ictiólogos, hidrólogos y biólogos. Durante años representó el instrumento fundamental de investigación, de estudio y observación de las profundidades al servicio de todas las ciencias del mar. Ayudado por sus hermanos menores, los submarinos monoplaza *SP-500,* o «pulgas», contribuyó al progreso científico en todos los océanos. En 1970 participó en la operación «Tunicile», misión de topografía submarina que permitió determinar el mejor trazado para la instalación de los gasoductos que suministrarán a Sicilia e Italia el gas natural extraído del subsuelo de Africa del norte. En esta ocasión, Falco descubrió, al mando del *SP-350,* durante una inmersión en el Canal de Sicilia y a 250 metros de profundidad, los restos casi intactos de un antiguo navío de guerra, una verdadera galera probablemente fenicia. Pero, sin embargo, algunas inmersiones resultan decepcionantes; se recorren kilómetros sobre inmensas extensiones de lodo o de arena. Se puede avanzar durante mucho tiempo sin encontrar un solo ser vivo. No obstante, a veces se penetra de repente en un oasis de algunos centenares de metros cuadrados repletos de vida: peces, gambas, calamares.

El mar es grande para el pequeño hombre; aun consagrándole su vida, sólo verá una parte de él; al igual que ocurre con las selvas, las realidades de la vida sorprenden más que las fantasías elaboradas por los escritores de ciencia ficción.

Cosecha submarina



Dos puntos brillantes resplandecen en la noche de las profundidades. Albert Falco, que ha sido el primero en verlo, dirige el platillo hacia este extraño fenómeno. Estamos los dos tumbados, probablemente a causa del cansancio. El océano Indico no dejará nunca de sorprendernos. He aquí que las luces resaltan en la oscuridad: eran los ojos de un animal increíble. De momento, no consigo identificarlo. Se trata de una especie de tiburón cuyo cuerpo no parece acabarse nunca. Quizá siete u ocho metros. De todos modos, por lo menos dos veces la longitud del platillo. Ahora arremete contra nosotros. Parece que la luz de los faros lo deslumbra. ¿Es acaso un temor instintivo? Echo un vistazo al manómetro: estamos a 270 metros bajo el nivel del mar.

Como asombrado, el enorme animal se detiene un instante. A pesar de los ojos de buey no podemos reprimir un gesto de







temor. Inútil, claro está. El gigantesco animal no consigue despegarse de los haces luminosos de los proyectores. Su gran hocico pasa rozándonos; luego, desfilan su cuerpo rechoncho y su ancha cola asimétrica... Un fuerte choque, un coletazo que nos zarandea violentamente. El escualo ha golpeado el platillo con sus 500 kilogramos. Gira a nuestro alrededor antes de alejarse, mientras una lluvia de chispas cae en su estela: es la arena que había levantado el animal al huir.

Al pasar he podido identificar al coloso: se trataba de un *Hexanchus griseus*, una especie de tiburón que vive a grandes profundidades en los mares cálidos, comúnmente denominado pez-toro.

Nos hallamos sumergidos desde hace más de dos horas. El *Calypso* había anclado al suroeste de la isla de Socotora, en el océano Indico septentrional. Habíamos comenzado el rodaje de nuestra película *«El mundo sin Sol»*. Esta inmersión era de carácter rutinario y tenía como finalidad explorar los fondos para decidir la duración de nuestra estancia alrededor de la isla. Todo comenzó normalmente; las operaciones de control: voltaje de las baterías, presión de oxígeno, funcionamiento de la bomba hidráulica y del compás giroscópico. Después, Falco pone en marcha los motores eléctricos, y empieza el descenso acompañado de su zumbido familiar.

Un buceador, Christian Bonnici, nos saluda a través de los ojos de buey para asegurarse de que todo va bien a bordo. Mientras vuelve a la superficie, veo cómo dos tiburones giran alrededor de él. No puedo impedir tener un momento de temor. Afortunadamente prefieren ocuparse de nosotros, y Bonnici desaparece atravesando el espejo de la superficie.

Alcanzamos muy rápidamente los 90 metros de profundidad. Estamos encima de una plataforma grisácea formada por restos diversos: fragmentos rocosos y fango. La franqueamos y continuamos el descenso, siguiendo la mayor pendiente. A − 100 metros llegamos al borde de un gran acantilado vertical. A − 110 está bordeado por una especie de «acera», una estrecha cornisa constituida por algas fósiles que corre a lo largo de la roca, siempre a la misma profundidad. Sabemos que indica el antiguo nivel del mar en un reciente período glaciar.

Falco mantiene el platillo frente al acantilado y lo deja hundirse lentamente. La pared desfila suavemente delante de nuestros ojos. La vida es aquí más escasa, la roca está desnuda. A − 150 metros el platillo se detiene por sí mismo. Nada grave: hemos alcanzado la «termoclina», es decir, el nivel en el que las aguas cálidas de la superficie se encuentran con las aguas más frías de las profundidades. Flotamos así sobre una capa de agua más densa. Podríamos continuar descendiendo inmediatamente, añadiendo lastre al platillo, pero preferimos esperar a que nuestro pequeño aparato se enfríe él solo, se contraiga ligeramente y pueda proseguir su descenso por simple gravedad. Algunos minutos después reemprende-





Una de las ventajas del platillo submarino es su pinza de muestreo, que le permite recoger a considerables profundidades sedimentos u organismos interesantes para los oceanógrafos. La pinza, cuyos mandos son hidráulicos, se maneja a distancia desde el habitáculo del platillo y puede agarrar cualquier objeto que pase a su alcance. Su interés se acentúa por la gran manejabilidad del sumergible, que puede avanzar, retroceder, pararse, subir, e incluso posarse en pocos palmos de terreno.



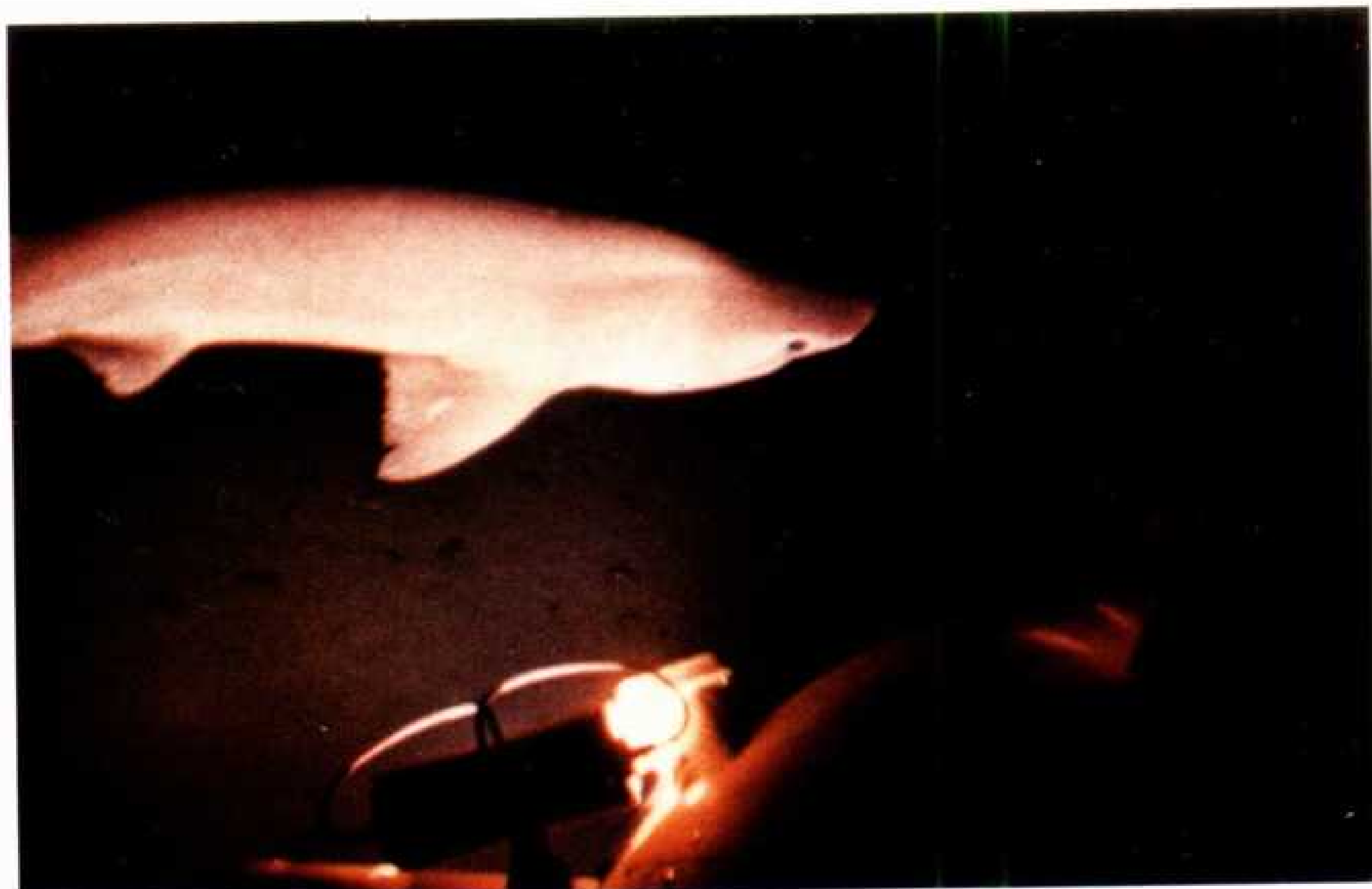






mos la inmersión sin la más mínima intervención por nuestra parte. En estas aguas, cada vez más sombrías pero cristalinas, nuestros faros llegan lejos. Hasta donde alcanza nuestra visión el paisaje es majestuoso, pero está desierto. Hacia los −260 metros se forman en el muro de roca grandes fisuras verticales, que se transforman algunos metros más abajo en grandes cuevas repletas de peces rojos del tamaño de un mero. A −270 metros llegamos al final del acantilado, que parece surgir de una llanura de sedimentos grises. A Falco, encantado de abandonar la muralla desértica, le entusiasma encontrar un oasis lleno de vida. Surgen en cualquier grieta nubes de gambas, meros... Contemplamos durante un buen rato un pez extraordinario, una especie de rape que anda a cámara lenta sobre el fondo, apoyándose en sus aletas como si fueran patas.

Decidimos, poco después, posarnos sobre el fondo. Nos rodea en seguida un número increíble de cangrejos. Parece como si





todos los cangrejos del mundo se dieran cita aquí, en mitad del océano, a 300 metros de profundidad, alrededor del platillo. Falco inclina el sumergible hacia delante para que nuestros ojos de buey se sitúen tan sólo a unos decímetros de los cangrejos, para que podamos observarlos de cerca. Sus caparazones rojizos son aplastados; sus pinzas, relativamente pequeñas; sus delgadas patas están dotadas de membranas... Son cangrejos nadadores, capaces de mantenerse mucho tiempo entre dos aguas y de hacerse transportar a lo largo de distancias considerables por las corrientes. Pero aquí no intentan nadar, se apiñan en el fondo, se amontonan en varias capas, se agitan, luchan. Está claro que están aquí para reproducirse, en una de las orgías sexuales estacionales características de algunas especies. Decidimos ponernos de nuevo en camino y sobrevolar este «congreso de cangrejos». Durante centenares de metros, el espectáculo es alucinante. Hay una reunión de cientos de miles, quizá de millones de cangrejos.

Esta agrupación no tiene otra finalidad que la concentración en el mismo lugar del mayor número de individuos. Si estos crustáceos tuvieran que esperar el azar para la fecundación de sus huevos, el contacto de dos seres del sexo opuesto sería extremadamente aleatorio. Pero, ¿cómo ha podido provocar sólo el instinto una reunión de tal envergadura?

El platillo no sólo nos ha permitido llegar a profundidades prohibidas a los buceadores. Nos ha ofrecido también un lujo supremo: el tiempo, que también está igualmente racionado para los buceadores. El tiempo, único factor que permite observar y comprender a los animales.

Esta secuencia, rodada gracias al platillo, muestra un tiburón dormido en una caverna.



EL MAR EN IMAGENES

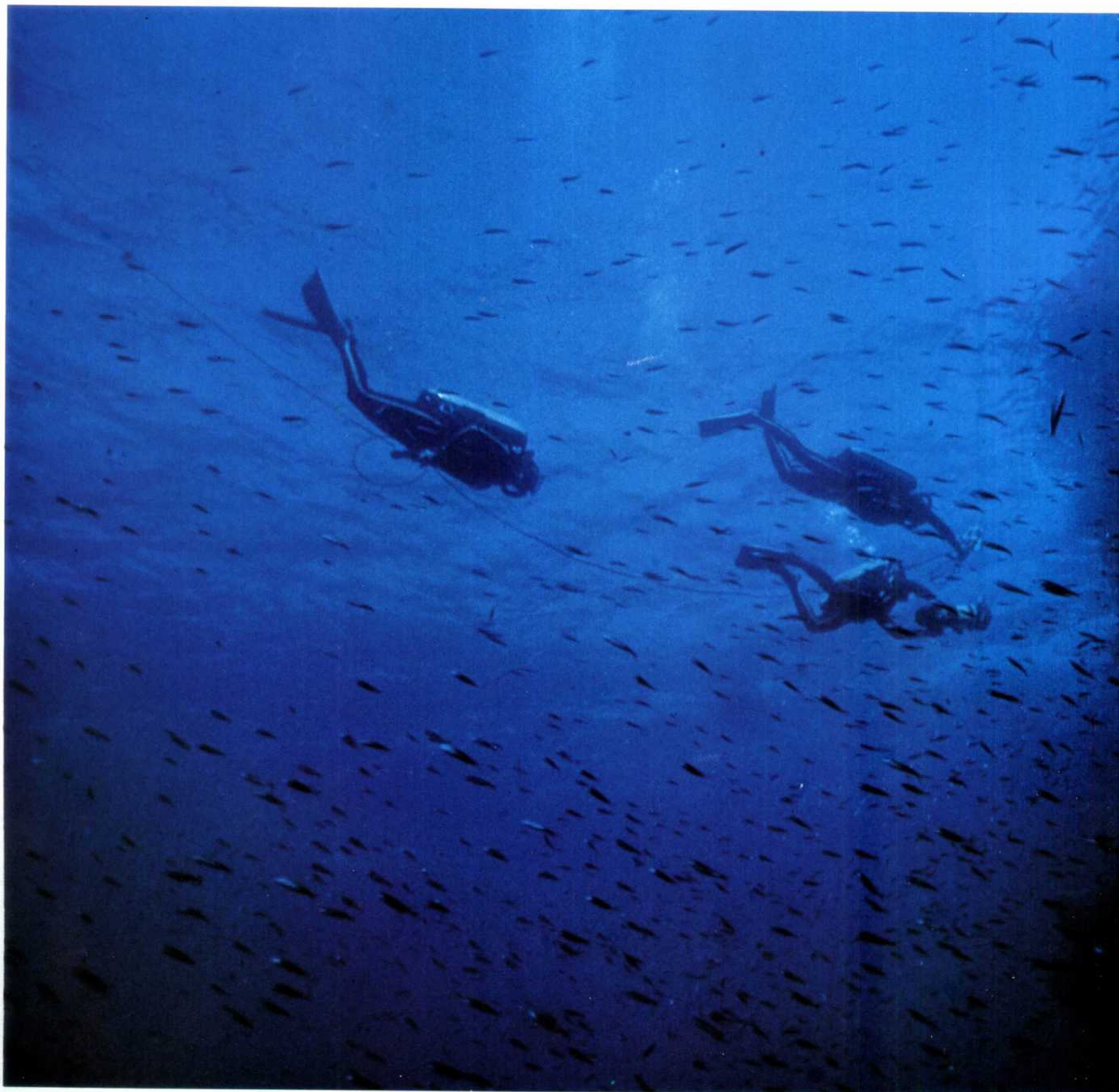
La primera cámara

EN 1942, Dumas, Tailliez y yo buceábamos casi todos los días a pulmón libre, sin escafandra ni traje de buceo, ansiosos por admirar el espectáculo submarino, probar nuestra resistencia a la fatiga y describir a nuestros amigos nuestras andanzas bajo el agua. Pero nuestro entusiasmo quedaba invariablemente empañado ante la incredulidad con que acogían nuestros relatos. ¿Qué podíamos hacer para que nos creyeran? Demostrárselo con imágenes en vivo, naturalmente.

Ya en 1938, Philippe Tailliez había logrado rodar algunas escenas bajo el mar sirviéndose de una cámara *Pathé* de 9,5 milímetros metida en una caja de chocolates herméticamente cerrada. Yo decidí proseguir el experimento.

Por todo equipo disponíamos de una vieja cámara *Kinamo* de 35 milímetros, comprada por una bagatela a un chamarilero marsellés. Un exiliado húngaro, Papa Heinic, puso un excelente objetivo, y Léon Vèche, ingeniero mecánico a bordo del torpedero *Le Mars*, construyó una caja estanca. Pero en aquellos tiempos de guerra, ¿cómo conseguir para aficionados como nosotros película de 35 milímetros? ¡Sólo faltaba eso! Compramos varios centenares de rollos fotográficos *Leica*, de 1,60 metros de longitud, y Simone, tapada con las mantas de una cama (¡excelente laboratorio fotográfico!), las fue pegando para hacer bobinas de una longitud aceptable. Pero como nuestra cámara solamente disponía de carretes capaces de contener 15 metros de película, nos veíamos obligados a subir a la superficie cada 32 segundos de rodaje para recargar el aparato.

Así fue cómo filmamos, antes de crear la escafandra autónoma, nuestra primera película, que se llamó *«A 18 metros de profundidad»*. Una de las escenas más espectaculares sigue siendo aquella en que







Dumas, en apnea, atravesaba nadando un túnel natural que se hallaba a 18 metros de profundidad.
¡Cuánta paciencia y aliento nos exigió esta secuencia! Cargando con la cámara, yo tenía que situarme en un extremo del túnel, desde donde no veía a Didi, que estaba en la otra punta: entre nosotros, tapando la gruta, se erguía una imponente roca, en cuya punta, dominándolo todo, se situaba otro buceador haciendo las veces de «señalizador». Cuando yo ya estaba preparado para rodar, y sobre todo Dumas para sumergirse, me hacían un gesto y descendía con la cámara hasta mi sitio, a más de 15 metros, donde me apostaba. Luego avisaban a Dumas, que entraba nadando a la galería, se detenía un momento y continuaba avanzando hacia mí hasta rebasarme. Terminada la secuencia, regresábamos a la superficie, latiéndonos las sienes y con los músculos laxos, para recobrar el aliento a grandes bocanadas.

Para dar a conocer al gran público las maravillas del mundo submarino, el comandante Cousteau no tardó mucho en decidirse a perfeccionar su material de rodaje subacuático. Aquí, las primeras cámaras submarinas.





Mi segunda película, *«Pecios»*, se realizó en 1943, y ya tuvimos la oportunidad de contar con la escafandra autónoma. Sobre todo pudimos permitirnos un nuevo lujo, el del tiempo. Los segundos dieron paso a los minutos, y así pudimos emprender proyectos más ambiciosos. Para esta segunda película escogí la rada de Marsella y la isla del Planier, donde se levanta el famoso faro.
Eramos cinco: Tailliez, Roger Gary, Dumas, el cineasta Claude Houlbrèque y yo, con todo nuestro material a cuestas.

Pecios

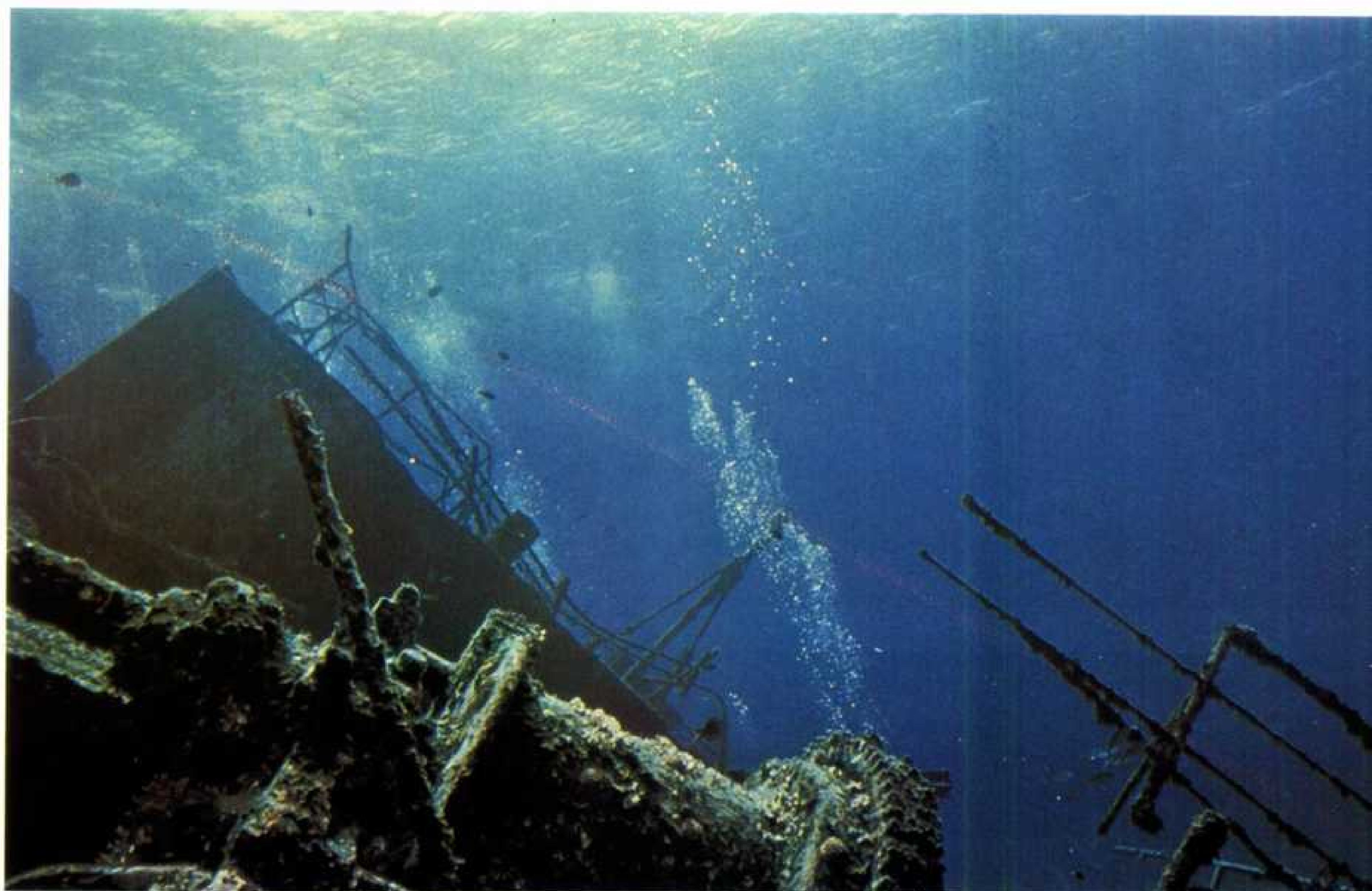
RESTOS de naufragios... Para mucha gente, desde los oficiales de marina a los pescadores y la gente de tierra adentro que apenas sabe nada sobre el mar, esta expresión les suscita enseguida imágenes de tempestades, de tifones, de arrecifes surgidos en medio de la noche, o —en tiempos de guerra— de torpedos, de minas flotantes, de bombardeos aéreos... Se imaginan a veces una terrible colisión entre dos buques extraviados en la niebla. Pero, ¿quién pensaría nunca en asociar la imagen de un naufragio a la de un festín, o de una borrachera colectiva?

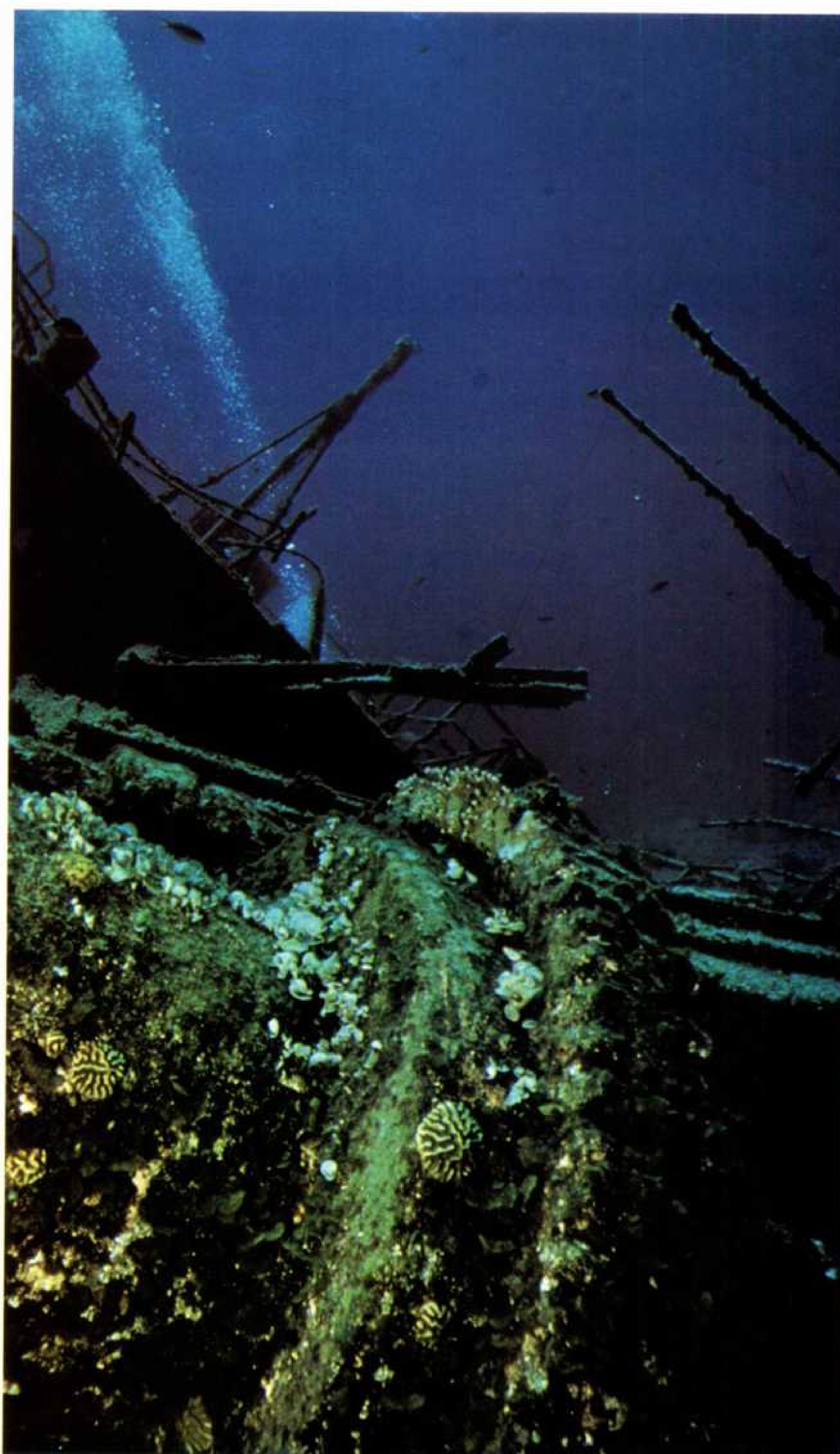
Y, sin embargo, el *Dalton* no tiene más historia que ésta. Fletado por una compañía naviera griega, este antiguo vapor de 5.000 toneladas hacía cabotaje en el Mediterráneo, transportando de uno a otro puerto la más diversa mercancía. Aquella noche de Navidad de 1928, abandonó Marsella con su cargamento de plomo. Atraído por el faro de Planier, como una mariposa por la luz, se dirigió en derechura hacia el islote, estrellándose contra las rocas. El choque fue tan violento que el navío se hundió de inmediato. Los vigías del faro se precipitaron hacia el mar y lograron sacar a tierra a toda la tripulación. Si hemos de dar crédito a su informe..., todos estaban borrachos: ¡efecto de haber celebrado demasiado alegremente la Nochebuena!

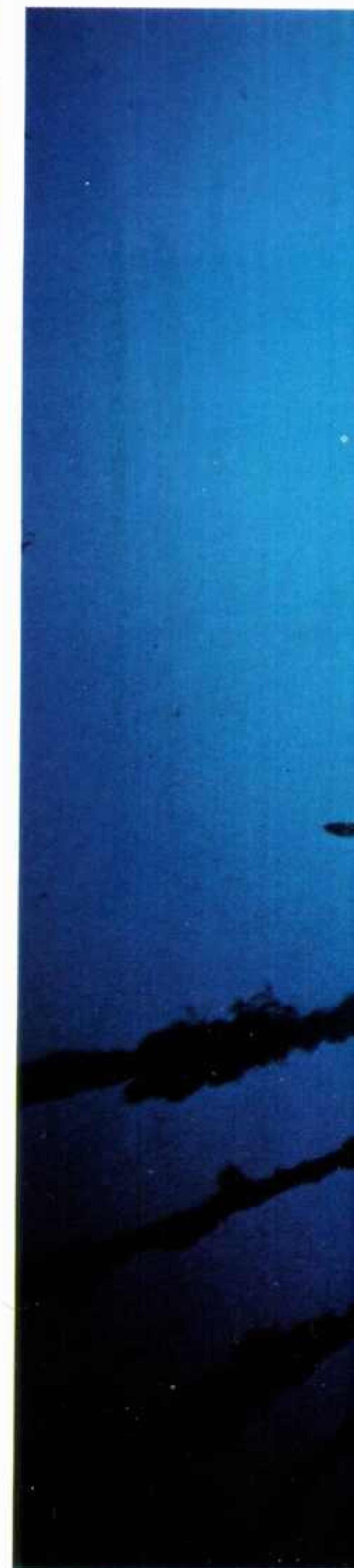
Buceando sobre la popa, a 16 metros de profundidad, descendemos hacia la proa, que yace 20 metros más abajo. Rozamos la borda desfondada y llegamos al puente desbaratado, donde se abre una amplia escotilla. Nos introducimos por ella, aguzando la vista para intentar penetrar la oscuridad que reina en el interior y sondear este pozo sin fondo. He aquí nuestro primer problema: la luz.

Fuera, en el agua cristalina, se recortan los mástiles del barco, las planchas de acero, imágenes sin sombra aureoladas en derredor por una claridad irreal. Metidos en el vientre del *Dalton,* vamos palpando en una oscuridad total.

Con el tiempo, hemos ido aprendiendo a iluminar las grutas submarinas, las calas de los barcos naufragados, los abismos a donde nunca han llegado los rayos del Sol. Nuestras cámaras, cada vez más modernas, han filmado desde pecios hasta icebergs, pasando por formaciones coralinas, peces y mamíferos marinos... Pero el choque con la oscuridad, aquel día de 1943, fue demasiado violento para nosotros, ¿cómo íbamos a pensar que el mar no era una permanente claridad, azul y luminosa?







La exploración de pecios de todas las épocas constituye una parte de la labor del equipo Cousteau.

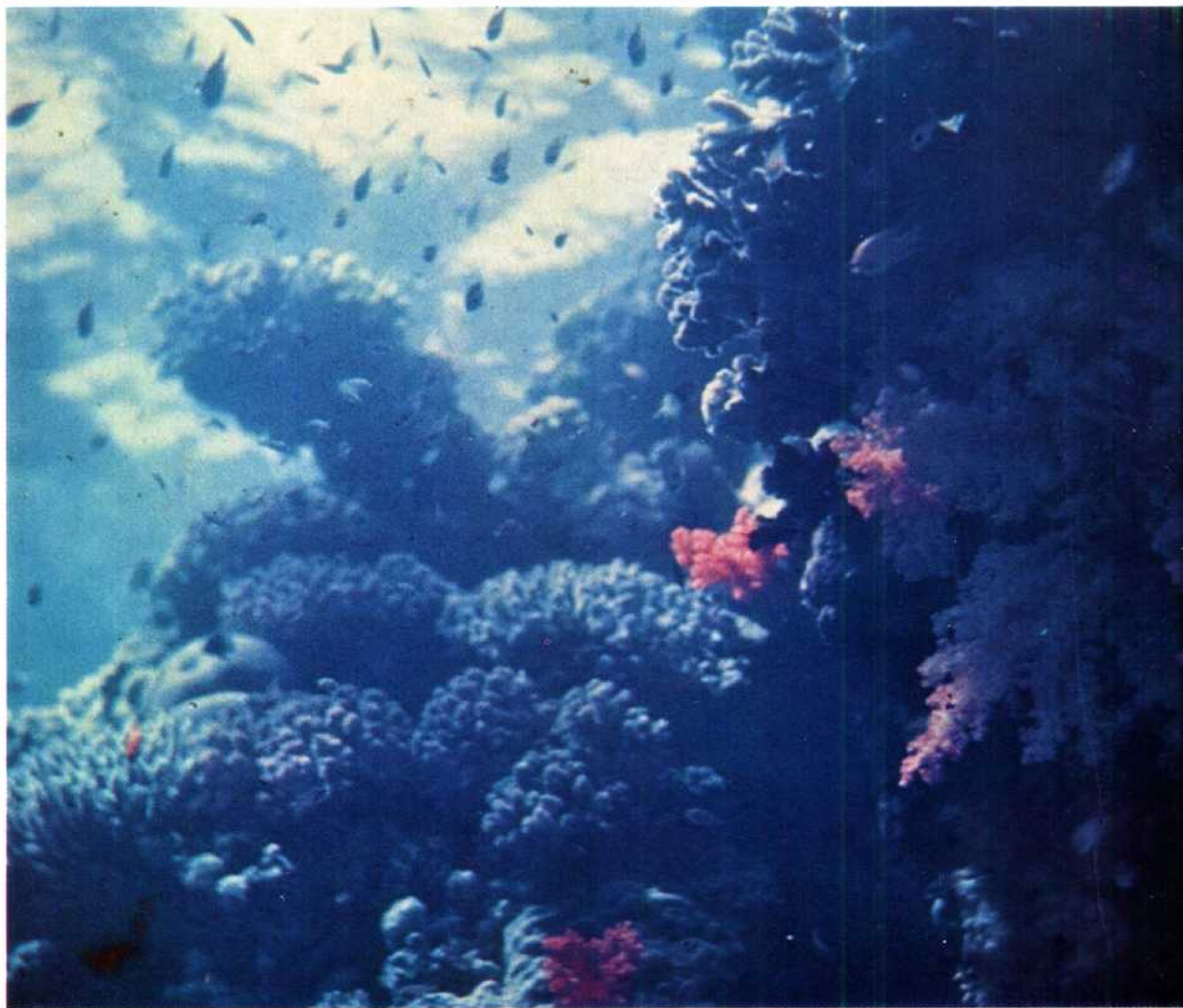


Las primeras imágenes bajo el mar

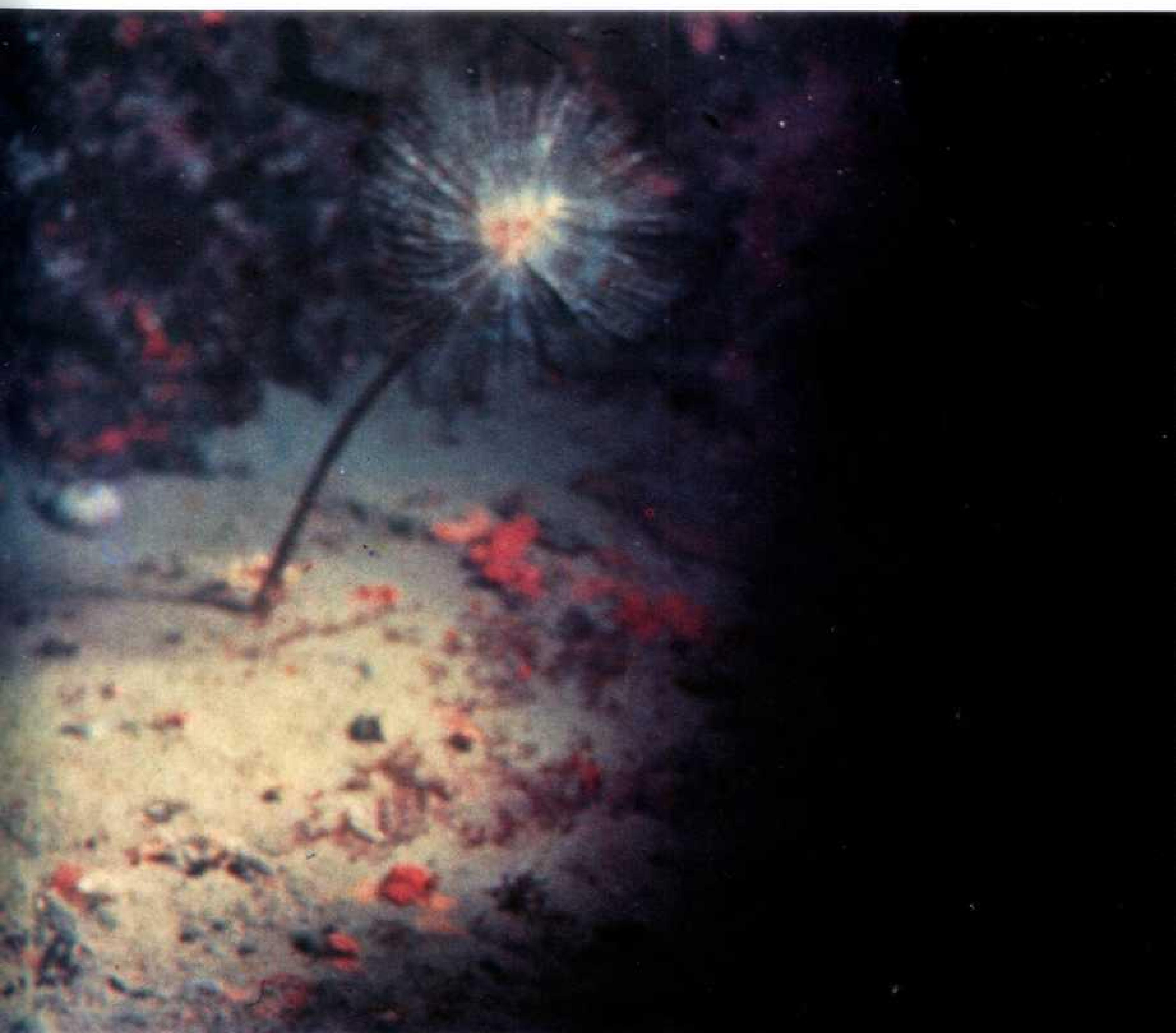
Cuánto gozamos filmando la vida en el mar, y más al comprobar que obteníamos excelentes resultados! Y qué decepción el día en que nuestras imágenes se difuminaron, saliendo movidas como si la cámara de pronto se hubiera vuelto loca... Sin embargo, el operador era el mismo, así como el aparato. Tuvimos que pasar horas y horas discutiendo la cuestión para comprenderlo. El problema no era de óptica, sino de nuestra psicología. Ya sabíamos hacía tiempo que, a través de la máscara de cristal con que nos protegíamos los ojos bajo el agua, los objetos parecen mayores de lo que son en realidad. Todo parece estar una cuarta parte más cerca que la distancia efectiva. ¡Qué rabia me daba en otro tiempo cuando, al alargar el brazo para tocar algún objeto, se me cerraba la mano cerca, sin lograr alcanzarlo! Más adelante, la experiencia me enseñó a corregir mentalmente las distancias y las dimensiones, y logré aferrar sin yerro esponjas y caracoles. Al rodar las primeras películas submarinas no me enfrenté con ningún problema óptico, y las imágenes eran perfectamente nítidas. Instintivamente ajustaba el objetivo con relación a lo que veía, y la cámara reproducía fielmente esta imagen. Sólo que ya me había vuelto demasiado hábil en la operación: inconscientemente corregía con la mente esta deformación visual, y enfocaba sobre la distancia real, efectiva, y no sobre la distancia aparente..., olvidándome de que el lente, por su parte, no podía hacer automáticamente semejante corrección.

También por aquella época rodamos bastantes metros para estudiar el funcionamiento de las traínas. Todavía no se sabía cómo se comportaban estas redes al arrastrarlas por el fondo. Desde hace miles de años, los hombres echan sus redes al mar fiándose exclusivamente de la suerte y de algunas teorías muy aproximadas sobre su funcionamiento. A Dumas y a mí nos interesaba mucho el tema, y pensamos que también podíamos serles útiles a los pescadores, que tanto nos habían ayudado en nuestros primeros años de exploración submarina. ¡Las imágenes que obtuvimos son verdaderamente aterradoras!

Como un tapiz, las posidonias constituyen una extensa pradera sumergida. La red barredera pasa junto a mí, y luego el armazón de la embocadura que rastrilla el suelo destruyendo algas y sembrando la muerte entre los minúsculos habitantes escondidos en la vegetación. Los peces salen de estampida, como los conejos ante una segadora. Nunca me había imaginado que fueran tan hábiles para escapar del monstruo, pero menos todavía la devastación causada por la máquina entre la fauna y flora fija del fondo. Ni podré









En 1948, el comandante Cousteau realizó las primeras secuencias submarinas en color. Por aquella época, los problemas no eran de fácil solución: la débil sensibilidad de las emulsiones, en particular, obligaba a meter bajo el agua un pesado material eléctrico, difícil de impermeabilizar y de manejar. En esta doble página se muestran varios aspectos de algunas de las primeras fotografías submarinas a color.

¿Por qué razón la naturaleza se habrá adornado con tan variopintos tonos a unas profundidades en las que los peces mismos sólo ven un paisaje uniforme de azules o negros?



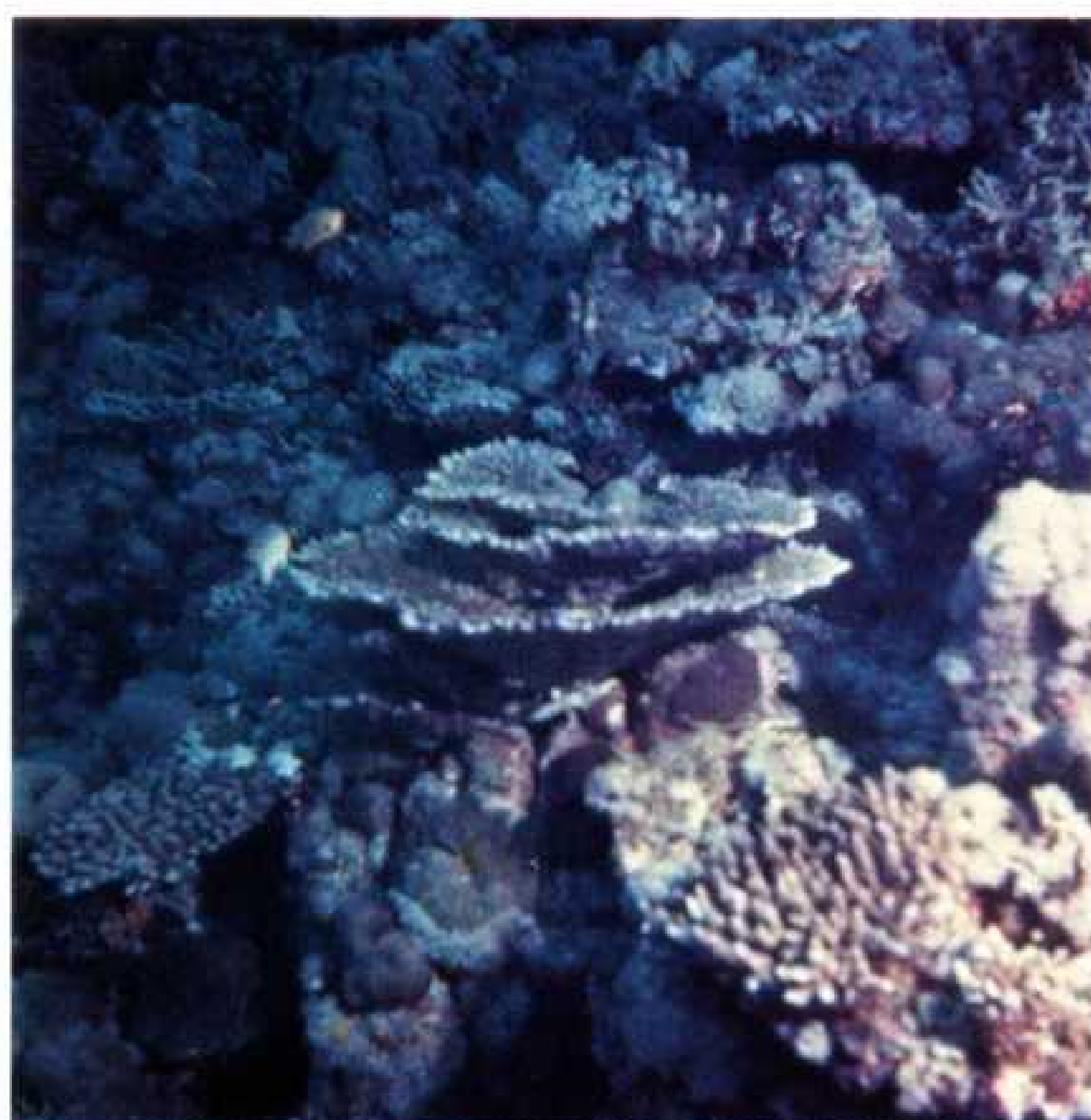
olvidar nunca este primer contacto con la destrucción que provocan en el medio marino ciertas técnicas de pesca. Y esta imagen perdurará en mí como el símbolo de un equilibrio roto.
1948: ruedo las primeras imágenes en color del mundo submarino. A la luz plateada que refleja el fondo arenoso próximo a las costas de Túnez, frente al puerto de Mahdya, desprendemos y subimos a la superficie columnas y capiteles jónicos hundidos junto con la nave romana que los transportaba en el siglo I a. de C.
Los colores grisáceos que conseguíamos al principio se iluminaron cuando Dumas sumergió el primer reflector conectado a la superficie por un cable eléctrico. ¡Fue como una eclosión deslumbrante de gorgonias, esponjas y algas multicolores!

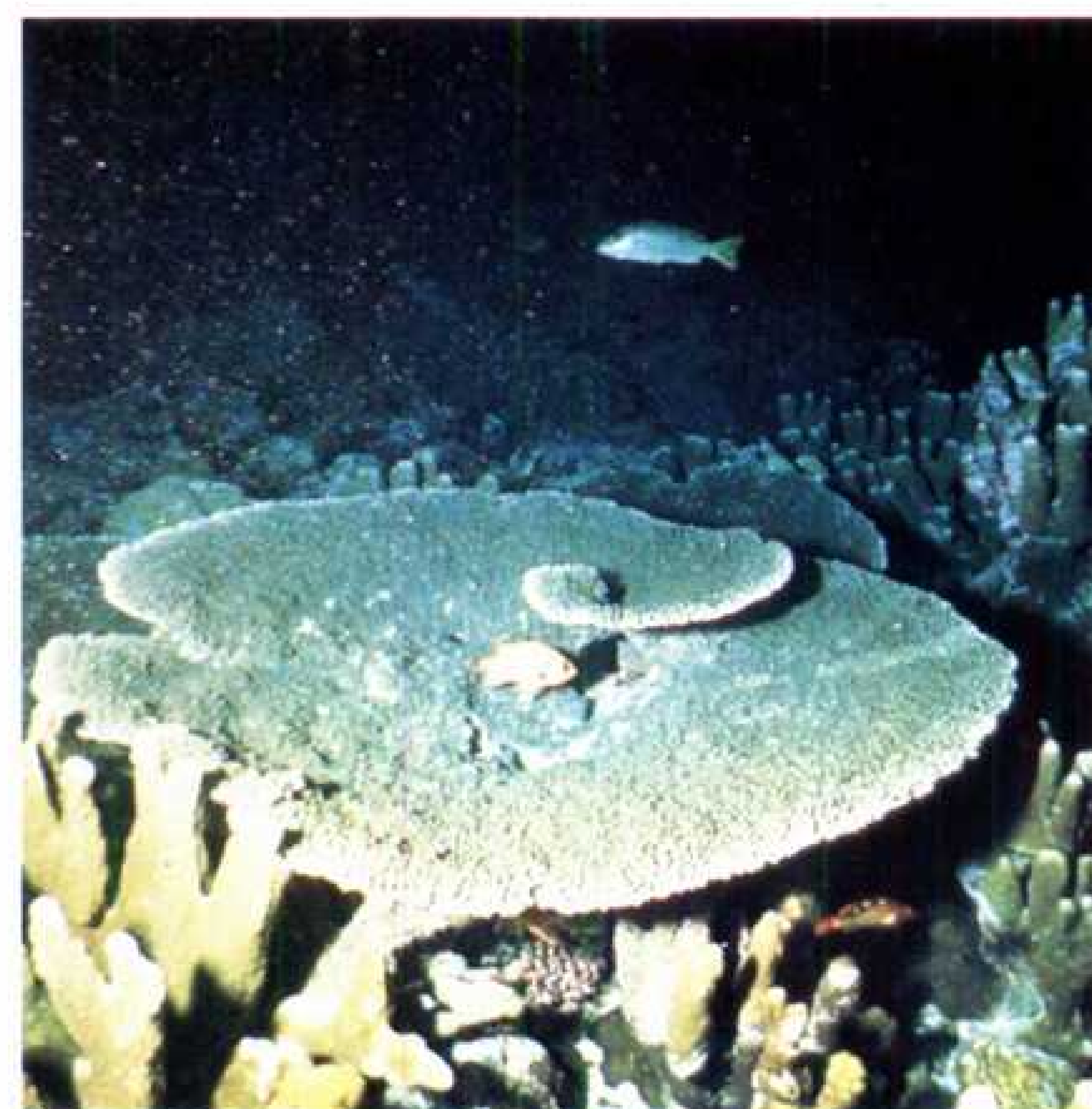


Los colores del mar

Un día de pesca, al principio de nuestras actividades, bajo las rocas aisladas de Cassidaigne. Dumas acaba de arponear una lichia de 40 kilos de peso. Estamos en los albores de nuestro conocimiento del mar, y no sabemos todavía la amenaza que significa la caza para su equilibrio biológico. Dumas saca el cuchillo y da el golpe de gracia al enorme pez. Brota un borbollón de sangre..., ¡de sangre verde!
Nos miramos estupefactos. No es la primera vez que capturamos una palometa.







Para resolver los problemas de la fotografía y el cine submarinos, el equipo Cousteau se vio obligado a emprender un estudio sistemático del comportamiento de los rayos luminosos en el agua. Los rojos son los primeros en ser absorbidos, seguidos de los amarillos, los verdes y los azules (como muestran las fotografías de arriba). A partir de algunos metros bajo la superficie, se hace indispensable la iluminación artificial si se quiere devolver a los paisajes submarinos la riqueza de todos sus matices.

Ya las conocemos de otras veces. Pero no sabíamos que existiera una especie de sangre verde.
Blandiendo su enorme trofeo, Dumas asciende hacia la superficie. A los ocho metros, la sangre fresca es de un pardo oscuro; un metro más arriba se torna rosa; en la superficie... ¡es rojo vivo!
Las metamorfosis de los colores en el mar fueron entonces objeto de numerosos estudios por parte del G.E.R.S., el grupo de investigaciones submarinas que habíamos constituido en el seno de la Marina nacional francesa. Nos sumergíamos con bolas rojas, azules, verdes, púrpuras y anaranjadas, y con tableros grises que iban del blanco al negro, para fotografiarlos a diferentes profundidades. A cinco metros, el rojo se volvía rosa y a diez metros aparecía ya marrón, mientras el amarillo palidecía. A 18 metros, todos los rosas viraban al negro, el amarillo se difuminaba y el verde se transformaba en azul. Y estos azules aparecían tanto más intensos cuanto que no se oponían a los demás colores. Los rayos ultravioletas penetran profundamente en el agua, mientras que los infrarrojos son absorbidos de inmediato apenas atraviesan la superficie.
Para admirar la fascinante paleta de los arrecifes tropicales no hay que penetrar por debajo de los 8 ó 10 metros, a menos que se cuente con unas potentes lámparas. Más abajo, incluso en los fondos inundados de sol, los colores reales de los pigmentos vegetales y animales se distinguen cada vez menos. Y progresivamente el mar se vuelve enteramente azul.
En nuestros experimentos fotográficos utilizábamos entonces dos reflectores provistos de lámparas de destello de magnesio. Se disparaban eléctricamente, mediante un largo hilo que los conectaba al mecanismo del obturador del aparato fotográfico.
Nuestros compañeros Jean Beltran y Jacques Ertaud, llevando los reflectores, se reúnen conmigo en el agua y nos sumergimos juntos. Los hilos eléctricos, sujetos





por boyas, se hallan arqueados sobre nuestras cabezas; así quedan fuera del campo del objetivo y alejados de los cortantes arrecifes.

Didi Dumas será nuestro «modelo»: debe aparecer en la imagen para darnos idea de la escala. Penetramos en una gruta tan oscura que apenas distinguimos a Didi. Este coloca un tablero contra la pared: se trata de comparar su color con el que aparecerá en la fotografía. Todavía no sabemos con qué fidelidad devolverán la película y la lámpara de destello los matices reales del fondo. De esta manera iniciamos un estudio sin precedentes por aquel entonces: descubrir las leyes de la fotografía submarina en color.

Ertaud y Beltran enchufan sus proyectores. El primero iluminará directamente el conjunto; el segundo, más arriba, creará una luz difusa sobre la escena. Todo está preparado. Yo disparo el aparato. Hay una eclosión repentina de colores, que desaparece con tanta rapidez que a duras penas conservamos una imagen precisa. Cegados, parpadeamos deslumbrados, tratando de revivir mentalmente el grandioso espectáculo que acabamos de presenciar. El testimonio de esta primera fotografía submarina en color con lámpara de magnesio todavía permanece vivo. Y las consecuencias de este éxito superarán con creces todo cuanto entonces hubiéramos podido imaginar.

El mundo del silencio

La Warner Brothers lo ha intentado ya. ¡Un desastre! *Moby Dick* es un maravilloso argumento para una película. Pero ¿cómo vamos a hacer para la ballena? Ellos han gastado cientos de miles de dólares para realizar un modelo de caucho. Lo llenaron de mecanismos complicados para hacer que surja el agua por el respiradero, mueva la cola, vuelva los ojos. ¡Pero el artilugio silbaba como una locomotora! Y han tenido que tirar a la basura kilómetros enteros de película. Cousteau, ¿no podríamos utilizar ballenas auténticas?»
Sentados en el bar del «Ritz» con el escritor James Dugan, escucho al director John Huston, que pide mi parecer sobre una posible realización de *Moby Dick*.





«El mundo del silencio» *fue el primer largometraje realizado por el comandante Cousteau, que le valió la Palma de Oro en el Festival de Cannes, en 1956, y el Oscar de Hollywood, en 1957. De esta película son los fotogramas de esta página.*

Muy seguro de mí, le respondo riendo: «¡Naturalmente que sí! Con tal que organicemos una expedición a la Antártida, y que vaya en ella un equipo de especialistas capaces de sumergirse en el agua helada. Y entonces, con mucha suerte, cada mes de trabajo dará por lo menos... ¡un minuto de proyección!»
1956: recibo la Palma de Oro en el festival de Cannes y, en 1957, el Oscar de Hollywood, por *«El mundo del silencio»*. Y me acuerdo de pronto de esa conversación. ¡Qué equivocado estaba! La película hoy premiada es la prueba indiscutible de que se puede «trabajar» con las ballenas, ciertamente, pero en zonas mucho más clementes que el polo Sur: ¡exactamente en el ecuador!
Meses después, efectivamente, y tras años de trabajos y pruebas, el *Calypso* embarcaba en sus bodegas película virgen, medicamentos, instrumentos diversos y boyas de todo tipo. Pronto se hacía a la mar desde Marsella para emprender la realización del primer largometraje rodado bajo el mar. A bordo, además de la tripulación, se encontraban mi esposa, Simone, Frédéric Dumas, el operador jefe Edmond Séchan, el operador Pierre





Goupil y un realizador que velaba armas. Louis Malle.

Tuvimos que recorrer 12.000 millas marinas a través del Mediterráneo, el mar Rojo y el océano Indico para captar en la película la vida secreta de algunos de los fondos más encantadores del mundo. Visitamos lugares cuyos nombres evocan aventuras, colores, encuentros. Abu-Latt, Adén, Mahé, Aldabra, Asunción... A lo largo de este relato volveremos a todos esos lugares para visitarlos juntos. Y hay lugares sin nombre. Como aquel, en el corazón del océano Indico, en que nos topamos con un rebaño de cachalotes que nos permitieron acompañarles en un largo momento de su intimidad... Era tan fácil acercarse a ellos que pensábamos con vergüenza en los falsos relatos del valor de los balleneros.

Instalado en la «falsa nariz», Louis Malle rodó las primeras imágenes cinematográficas de ballenas bajo el agua.

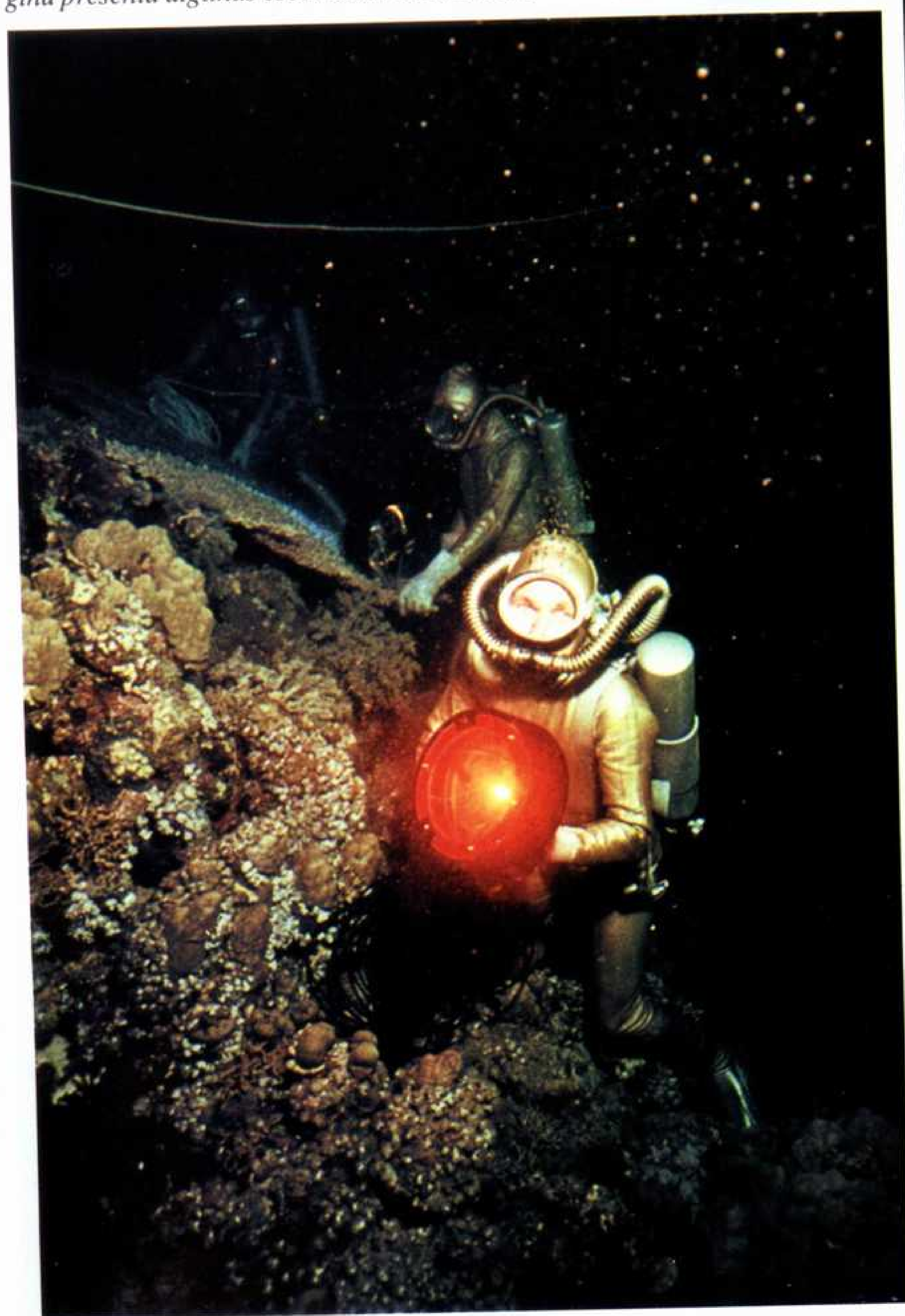
Pero la consagración que me supusieron los premios de Cannes y Hollywood no recompensaba sólo a estos cetáceos, sino a todos los actores de esta gran experiencia: los restos del *Thistlegorm*, los tiburones presa de loco furor, «Jojo» (el mero), las tortugas gigantes, los delfines, los corales, los pescadores de esponjas...

El mundo sin sol

PRIMAVERA-verano de 1963. Desde hace dos meses, el *Calypso* está anclado cerca de la barrera coralina de Shab-Rumi, al norte de Port Sudan, en el mar Rojo. Ocho buceadores están suspendidos de un trapecio sobre el agua, gracias a la grúa de a bordo. Un disparo, y, como flechas plateadas, se dejan caer. Así comienza *«El mundo sin sol»*, nuestro segundo largometraje...

¡Qué lejos en el tiempo quedan ya mis primeros escarceos cinematográficos! En torno mío tengo hoy un centenar de hombres, operadores, submarinistas, marineros, técnicos, repartidos entre dos barcos, el *Calypso* y el *Rosaldo*. Este último es un pequeño carguero italiano que ha transportado todo el material pesado que necesitamos: las casas submarinas y su lastre, 350 toneladas de lingotes de plomo, las reservas de gas, los compresores, las máquinas fotográficas, kilómetros de cables. También contábamos con una decena de cámaras de cine.

El largometraje «El mundo sin sol»*, rodado en 1963, narra la historia del experimento de casa-bajo-el-mar «Precontinente II». Esta doble página presenta algunas escenas características.*







Hay tantos proyectores que, una vez instalados en el fondo y encendidos, los hombres del *Calypso* tienen la impresión de ir navegando sobre una gran ciudad hundida.
Cinco submarinistas vivirán durante un mes en una casa situada a 10 metros de profundidad, de donde saldrán a trabajar a 25 metros más abajo; y otros dos se instalarán durante una semana en otra casa a 25 metros, desde donde se sumergirán hasta los 100 metros. Filmaremos cuanto acontezca, sus aventuras y dificultades. Les seguiremos en sus diarios desplazamientos, daremos con ellos largos paseos nocturnos para descubrir la vida de los corales dormidos. El platillo buceador *SP-350* dispone, a 10 metros de profundidad, de un auténtico hangar, en el que se le abastecerá y desde donde saldrán cámaras y oceanautas para bajar más de lo que podrían hacerlo buceando. Así exploraremos la base, o mejor dicho, las raíces del macizo de coral. De esta expedición memorable rodaremos una película con la que obtendremos otro Oscar en el año 1965.

Cámaras alrededor del mundo

«DENTRO de unos minutos aterrizaremos en Noumea. Rogamos se pongan sus cinturones de seguridad y que no fumen.»

Mar, océano, agua azul, gris, verde, roja, blanca. Bancos de coral, arrecifes, playas... ¡Cuántas veces he sobrevolado este mar durante las interminables horas que hemos pasado en avión para enlazar los antípodas!

Noumea, capital de Nueva Caledonia. Esta isla del Pacífico, territorio francés de ultramar, alberga una tercera parte de europeos y dos tercios de melanesios, pescadores y agricultores, que conservan, a pesar de más de un siglo de colonización, sus costumbres y hábitos tribales.

La voz de la azafata me hace mirar por la ventanilla. Me había quedado adormilado, cansado, rendido más bien, por tantas escalas, tantos paisajes, tantas horas de vuelo. El avión desciende lentamente para dar una primera vuelta de aproximación. Observo la isla montañosa, toda verde, cuyas costas están rodeadas por una barrera continua de arrecifes coralinos. En la actualidad, Noumea se asemeja a muchas otras ciudades modernas y su nombre resulta poético. Pero otrora, cuando se llamaba Fort-de-France, de triste memoria, era un lugar siniestro de deportación, tan terrible como la isla del Diablo en Cayena, y de la que pocos condenados volvían.

El avión pierde altura. A 200 metros, da vuelta para enfilar la pista, sacudido por un viento violento, ladeado de un ala; se me ofrece así una extraña vista de la ciudad, desparramada entre la montaña y el mar, con sus bancos de coral frente al puerto, y creo divisar el faro Amadeo que, de creer a mis compañeros, se habrá de convertir en nuestra base para esta nueva campaña de investigaciones. Estos, en efecto, llevan ya varias semanas trabajando en Nueva Caledonia: mi hijo Philippe; el operador, Michel Deloire, un fotógrafo y dos buceadores. Han alquilado una gran motora, efectuado un primer reconocimiento de los lugares y entrado en contacto con los especialistas del acuario de Noumea y la sección local de la Oficina Francesa para la Investigación Científica y Técnica de Ultramar. A estas alturas, sé que todo está ya preparado para la operación final.

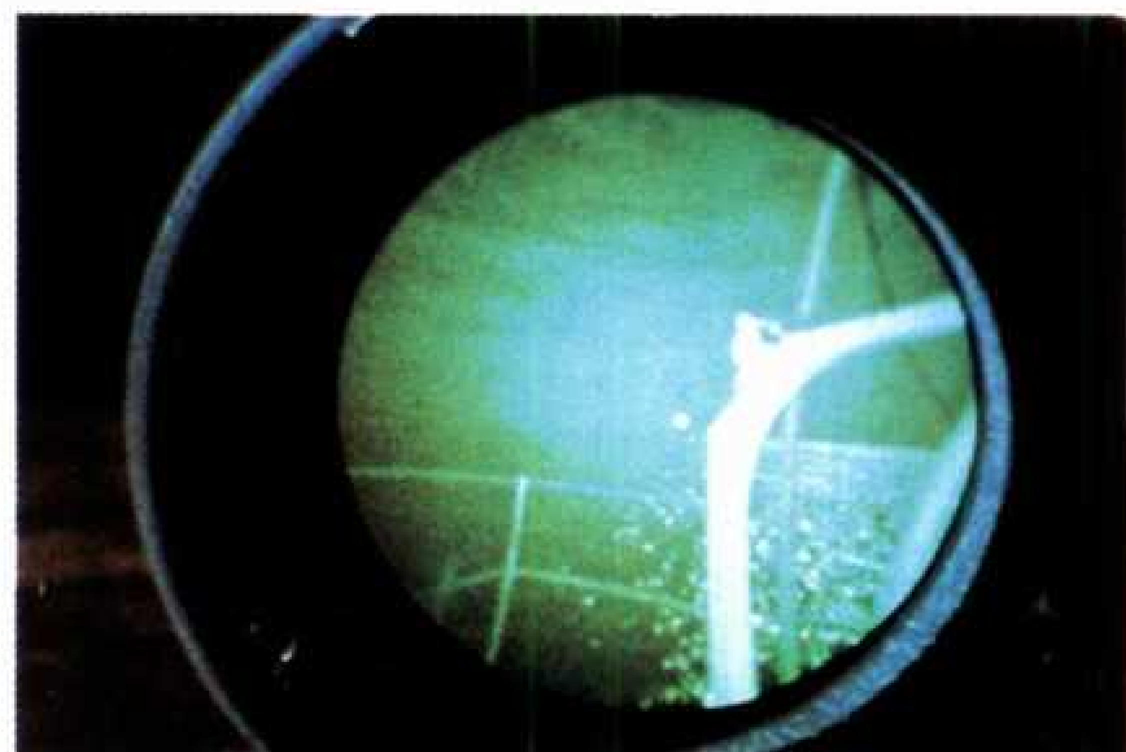
El avión saca los alerones y el tren de aterrizaje, y baja. Siento la presión en mis oídos; pero, como viejo pescador que soy, conozco el remedio: trago un poco de saliva y me vuelvo de nuevo hacia la ventanilla. Los alisios, que en estas regiones soplan constantemente, agitan el follaje. Por fin, el tren de aterrizaje toca suavemente la pista, entran en acción los aerofrenos y estamos en el aeropuerto.

Hace algunos años (ahora nos encontramos en 1971), un buceador del *Calypso*, Henri Goiran, me había enviado desde Noumea por avión dos especímenes vivos de nautilo, un molusco cefalópodo que sólo vive en el Pacífico y que se cree está en vías de extinción. Este auténtico fósil viviente, único representante actual de los cefalópodos con concha externa, ha atravesado las edades desde el Silúrico-Devónico, en la era Primaria. Por mucho tiempo conservé el recuerdo de los nautilos de Goiran, que habían maravillado a los visitantes del museo de Mónaco. Y decidí encontrarme de nuevo con ellos en su hábitat natural.

Pero el nautilo es un animal nocturno. Por el día vive entre los 100 y los 300 metros de profundidad, para emerger de noche a zonas accesibles a los buceadores, entre los 40 y los 60 metros. ¿Cómo resolver el problema de la iluminación, indispensable para tomar fotografías o película? Porque los proyectores perturban a los actores seleccionados para la ocasión: al menor reflejo de luz, se esconden en sus escondrijos, hurtándose así al objetivo de las cámaras. Nunca, pues, hubiéramos podido lograr nuestros fines, si no hubiéramos contado con un equipo especial inventado y construido en Estados Unidos.





Para filmar en la oscuridad, el equipo Cousteau utiliza el Owl eye: *un aparato electrónico que «multiplica» la luz ambiente y permite rodar secuencias normalmente irrealizables.*

El *Owl eye* («ojo de búho») permite «ver» en la noche. Sólo requiere de una iluminación ínfima, casi nula. Así, gracias a este aparato, basta con la sola luz de luna llena para desplazarnos en el agua como si fuera pleno día. Se trata de un amplificador de la luz, un «intensificador de imágenes», para traducir literalmente el término en inglés. Se compone de un objetivo especial que forma las imágenes sobre una placa sensible; las etapas amplificadoras alimentan a un tubo catódico sobre cuya superficie se vuelven a formar las imágenes con gran intensidad. El aparato proporciona imágenes brillantes, mucho más definidas que las televisivas.

El *Owl eye* multiplica 100.000 veces, aproximadamente, la luminosidad de la escena. Se obtiene, pues, una imagen cien mil veces más luminosa que si se viera a simple vista. Basta con que el buceador encienda la lamparita que lleva incorporada al casco de su escafandra autónoma carenada y la dirija, en la oscuridad más absoluta, hacia el objeto, para













Gracias al «ojo de búho» (Owl eye) *fue posible filmar por primera vez el comportamiento del nautilo. Aquí se le ve andar, devorar una presa (a la derecha) y acoplarse (abajo).*





que la máquina funcione perfectamente. Sin embargo, hay que permanecer a una cierta distancia, pues el exceso de luminosidad bloquea automáticamente al aparato. El *Owl eye* se apaga en cuanto registra una luminosidad intensa, que dañaría el sistema fotomultiplicador.

¡Descubrir, uno a uno, a los nautilos, bajo la caricia de un ligero haz luminoso; verlos aparecer en la verdosa luz de la pequeña pantalla, para luego regresar de nuevo a la noche! En la pantalla, verde pálido, aparece enseguida el contorno perfectamente regular de su concha, o el manojo de sus numerosos palpos, o la mancha brillante de un ojo... De pronto, todo desaparece... ¡Qué espectáculos tan maravillosos nos ha proporcionado siempre el «ojo de búho»! ¡Y pensar que en Norteamérica este extraordinario instrumento sólo servía hasta entonces para que los policías no perdieran la pista de los contrabandistas en sus andanzas nocturnas!



El equipo Cousteau sigue estando a la cabeza en cuestión de inventos y equipamientos cinematográficos submarinos. Es cada año más sofisticado, más manejable y de más confianza.

Pero, a partir de 1967, otros mil acontecimientos jalonan nuestra actividad cinematográfica. En el transcurso de una auténtica «vuelta al mundo» submarino, hemos filmado la vida oceánica bajo todas sus formas. Bogando desde el Mediterráneo hasta Alaska, pasando por el cabo de Buena Esperanza, para descubrir los secretos del Caribe, del Atlántico, o del Pacífico, ¿cuántos cientos de miles de kilómetros de película habremos impresionado? Eso, sin contar los ¡cincuenta y dos documentales para la televisión! Nuestras cámaras han viajado a mares, grutas, lagos y ríos del mundo entero. Ellas nos han permitido mostrar, en el cine y la televisión de todo el mundo, las maravillas y los problemas del universo submarino. Ellas han registrado nuestras investigaciones, ilustrado con imágenes nuestros descubrimientos, conservado la imagen siempre viva de nuestros compañeros ya desaparecidos, de colaboradores entusiastas, de pueblos y países lejanos y desconocidos hasta entonces. Ellas, incluso, nos han protegido a veces de la arremetida de los animales cuya vida cotidiana íbamos a perturbar.

Y luego, de repente, justo a la mitad de una secuencia esperada y preparada durante semanas enteras, se llenaban de agua por sus juntas desgastadas o se trababan súbitamente, para ponerse a funcionar de manera totalmente ilógica cuando ya no las necesitábamos...

Pero si nos han traicionado algunas veces, siguen de todas maneras acompañándonos en todas nuestras andanzas. Nuestras cámaras son, en efecto, como la pluma con la que vamos escribiendo nuestras memorias.

MIL DIAS EN EL MAR

El paso del ecuador

Me doy cuenta que cuando narré la expedición del mar Rojo, durante la cual realizamos la película *El mundo del silencio,* me olvidé de mencionar los pequeños y grandes acontecimientos de la vida cotidiana de la tripulación, de los buceadores y científicos a bordo del *Calypso*. El paso del ecuador, por ejemplo, da lugar, como todos sabemos, a una fiesta ritual, incluido el bautizo de los novatos, que se desarrolla tanto en los paquebotes como en los petroleros, los cargueros y todos los barcos de guerra del mundo.
A bordo del *Calypso* festejamos cada paso del ecuador de una manera distinta. En 1952, la ceremonia fue tradicional. Durante la noche anterior recibimos la orden del ministro del ecuador («reino de Neptuno») de aprestarnos para recibir al rey del mar a bordo del *Calypso*. Como teníamos que iniciar a 14 novatos, la fiesta se celebró con una gran solemnidad. Al día siguiente, el puente trasero del *Calypso* se hallaba abarrotado: algunos caníbales, varios policías, un bombero, un monje, un peluquero y varios tipos de músicos. A la hora prevista, un astrónomo sale del mar portando en una mano un sextante fabricado con una botella vieja. Anuncia la llegada del rey Neptuno y de su mujer, Anfitrite. Aparece entonces el capitán Saoût con una magnífica corona y una preciosa barba de cuerda, acompañado por nuestro radiotele-







Los hombres del Calypso *aman y respetan las tradiciones de la marina, como la del paso del ecuador para los novatos que no lo han atravesado nunca. Esta ceremonia da lugar en todos los barcos del mundo a fiestas de una gran alegría.*



grafista disfrazado de Anfitrite. Después de rendir honores a sus majestades, recorren todo el barco de proa a popa, invaden las cabinas, la despensa y la sala de máquinas, en una ruidosa zarabanda. A los novatos se les sienta entonces en unas tumbonas, se les lava, afeita, embadurna con harina y se les sumerge tres veces consecutivas en una improvisada piscina. Cuando salen de ella, jadeantes pero de buen humor, el bombero les riega con una manguera, el cocinero les bombardea con nata y les introduce en la boca un pastel hecho con pimienta, mostaza y cuerda.

Este año, el de *El mundo del silencio*, he querido que la iniciación de los novatos transcurra bajo el agua. Les he invitado a sumergirse mientras el bote trazaba con fluoresceína una línea verde imaginaria que simbolizaba el ecuador. Los buceadores debían atravesarla mientras que los cámaras filmaban el espectáculo.





Desgraciadamente, la diversión dura poco. Al día siguiente entramos en el monzón, y en un barco como el *Calypso* el mal tiempo es una verdadera tortura. El navío se balancea y cabecea sin cesar. Nos amontonamos en la cámara de oficiales sabiendo de antemano que el que tenga que salir para cumplir su turno será empapado de pies a cabeza nada más abrir la puerta.

A la hora de la comida, tomada habitualmente en común, el cocinero parece divertirse sirviéndonos potajes o sopas muy líquidas que conseguimos difícilmente conservar en nuestros platos. La pequeña distancia que separa la cocina, la nevera y el comedor parece infranqueable. Aunque los vasos, los platos y las botellas están sujetas en principio por soportes de la mesa, raras son las comidas que no terminan con bromas dignas de las antiguas películas cómicas. Mientras que todo el mundo se divierte sigo vigilando el océano, y esta búsqueda interminable me fascina como el primer día.

La inmensidad de los mares tropicales es y ha sido siempre un desierto azul. Durante las monótonas travesías he pasado horas enteras acostado en la cámara de observación submarina, nuestra falsa nariz, debajo de la roda del *Calypso*. La mayor parte del tiempo, al observar atentamente el mar a través de los cinco ojos de buey que rodean mi cabeza, no discernía más que la nada, materializada por el desfile de algunos puntos blancos, criaturas microscópicas del plancton, o por la danza de los rayos del sol dirigidos en todas las direcciones por los planos móviles de la superficie. Cuando abandonaba mi puesto, una cámara de televisión enlazada con un monitor situado en el puesto de mando tomaba mi relevo, asegurando así la continuidad de la observación.

Los perros de a bordo

El mal tiempo me hace pensar en los perros que han compartido nuestra vida a bordo desde el comienzo de nuestras travesías de exploración: *Bonnard, Scaph, Zoom* y *Ulises*. Todos ellos fueron extraordinarios, excelentes marineros que nunca se mareaban, queridos por todos y cariñosos compañeros.
Durante el viaje de 1954, *Bonnard,* un *cao de agua,* o perro de aguas portugués, tuvo también su iniciación en el paso del ecuador. Le instalamos en la silla del peluquero, le enjabonamos y le metimos tres veces en la bañera antes de dejarlo al cuidado del cocinero. Pero *Bonnard* no se quedó mucho tiempo en sus brazos. En cuanto pudo soltarse corrió a bañarse de nuevo en la pequeña piscina. Fue muy difícil sacarlo y mantenerlo tranquilo durante la ceremonia. No quería salir del estanque aun después de vaciarse.
En Mascate, capital del sultanato de Omán, *Bonnard* fue el protagonista involuntario de un suceso del *Calypso.* La raza *cao de agua* se conoce exclusivamente en Portugal y en las Azores. Se parecen a las caniches, pero con el pelo menos rizado, brillante y espeso. Les encanta el agua, nadan muy bien y bucean hasta tres metros de profundidad para recoger los peces que caen al agua cuando son sacados de las redes. Como a cualquier buen marinero, les gusta bajar a tierra durante las escalas. Sin embargo, las leyes de cuarentena de Mascate son muy rigurosas, y *Bonnard* tuvo que quedarse a bordo. Los hombres no pudieron, por supuesto, resistir a la atracción de una escala austera pero tan pintoresca. Durante su paseo por las calles casi desérticas, por ser la hora de comer, observaron la silueta peculiar de un perro de agua portugués:
«*Bonnard,* ¿qué haces aquí? ¿Quién te ha dejado bajar?»
Nos acercamos con la intención de llevarlo de nuevo a bordo. Sin embargo, el perro no sólo se escabulle, sino que también nos gruñe y nos ladra. Perplejos, le rodeamos para intentar capturarle. Aparece entonces un árabe amenazador que coge al animal y empieza a insultarnos. Era su perro. La explicación de nuestra equivocación es tan simple como extraña. Hace trescientos años, Mascate era una fortaleza portuguesa. Los únicos vestigios que quedan de esta dominación son dos castillos en ruinas, que protegen la entrada del puerto, y los descendientes de los perros de agua, esa raza tan original.
En 1955, durante el crucero de *El mundo del silencio, Bonnard* ya no está con nosotros. Al volver del largo viaje del año anterior, durante una tempestad frente a la isla de Córcega, se lo llevó una ola que barrió el puente de popa. Para intentar su rescate hicimos las mismas operaciones que hubiésemos realizado para un hombre; paramos las máquinas, tiramos al mar salvavidas y rastreamos la zona durante horas a pesar del mal tiempo. *Bonnard* era un gran nadador, pero la tempestad pudo con él.
En 1955 tenemos a bordo a *Scaph,* un *dachshund* muy distinto de su predecesor. *Scaph* es tan gordo y patoso como *Bonnard* era ligero, ágil y delgado.











No tiene nada, pero nada, de un perro acuático. Las muecas que hace cuando está delante de una langosta o de un erizo son increíblemente divertidas.
Por otra parte, odia la música y empieza a aullar en cuanto cojo mi acordeón o Laban se sienta detrás de su violonchelo. A pesar de todo, es un animal muy inteligente. Su glotonería no tiene límites. Insensible al mareo, se acuesta de través y se desliza a compas dentro de su propia piel al dormir. *Scaph* no tenía más que amigos a bordo, pero odiaba sistemáticamente a todos los mecánicos.



Más tarde hablaré de *Zoom,* el *bloodhound* que nos regalaron el príncipe Rainiero y la princesa Gracia, y que nos acompañó durante «el gran crucero», así como de *Ulises,* nuestro pequeño compañero de hoy, el único *yorkshire* que haya explorado el Atlántico. Pero la vida de los perros es muy corta: cuando corrijo estas líneas, antes de entregarlas a la imprenta, *Ulises* acaba de abandonarnos. No olvidaré su carita y sus ojos, siempre chispeantes bajo su flequillo.
Ulises, pese a ser un peso mosca, regentaba la vida de a bordo. Era él el que

A bordo del Calypso *siempre hubo un marinero de cuatro patas. Durante el rodaje de* El mundo del silencio, Scaph, *el* dachshund *de pelo corto, fue la mascota de la tripulación y de los buzos; tenía curiosidad por todo, pero era también un gran aficionado a las siestas.*





permitía a la tripulación que empezara su trabajo; cuando se desobedecían sus órdenes aullaba de una forma en verdad elocuente.
No obstante, es imposible dejar de referirse a un hecho sorprendente y que a menudo desconcertaba a nuestros visitantes. La principal característica de este perro era que sabía sonreír; cuando se lo pedíamos, levantaba los labios y enseñaba los dientes, en una especie de rictus afectuoso de una comicidad irresistible.

Cáscaras de nuez

NUNCA se sabrá quién inventó los barcos, y tal vez sea mejor así. De este modo, la navegación seguirá siendo una conquista a la que ha contribuido toda la humanidad: tronco de árbol ahuecado, balsa, piragua, barca, galera, carabela, barco de alto bordo, buque de vapor, de paletas o de hélice, hidroala o aerodeslizador... Una historia que es una sucesión de aventuras tecnológicas desde Oceanía hasta las regiones árticas, desde el Mediterráneo hasta Australia. Naturalmente, y puesto que las diversas poblaciones no disponen de idénticos materiales, debieron recurrir a distintos métodos para construir sus medios de navegación. Esta es la razón de que haya tan diversos tipos de embarcaciones: balsas de junco, barcas de corteza de árbol, embarcaciones de piel, etc.

Si a esto se añade que los océanos, lagos y ríos no tienen una misma condición, se







En sus peregrinaciones por el mar Rojo y el océano Indico, el Calypso *se cruzó cientos de veces con cantidad de embarcaciones primitivas: siempre han suscitado en nosotros gran interés los barcos del mundo entero. Fue con verdaderas cáscaras de nuez como algunos pueblos osados colonizaron las islas, yendo a veces a la deriva durante miles de millas hasta tocar tierra..., ¡cuando tocaban!*

comprende por qué las formas son también tan diferentes: piraguas de balancín, catamaranes, naves de guerra a remos, veleros más o menos perfeccionados...

En nuestras travesías a lo largo de los océanos, ¡cuántos barcos y cuántos hombres diferentes no nos habremos encontrado! Imposible evocarlos a todos ahora. El pesquero japonés faenando en el océano Indico, el *boutre* de los mares de Arabia, la canoa de las costas africanas...: imágenes todas grabadas en la me-





moria que evocan aventuras muy determinadas.

Ante la incertidumbre de toda singladura, la actitud del hombre es una mezcla de elementos irracionales y racionales.

El arte de construir naves se hizo tradición con el paso del tiempo, y los marinos que se aventuraban cada vez más mar adentro fueron aportando las supersticiones que su temor les inspiraba. Remos, velas, mástiles, cascos y proas se entremezclan para conformar lo que los marinos llaman el «alma del barco». Hay piraguas caídas del cielo, cual si fueran un don de los dioses, y otras que, por el contrario, son obra del Maligno. Ciertos navíos nacen con «estrella», mientras que otros, más modernos, ven cómo una especie de maldición los persigue para siempre.

Hay buques fantasmas y barcos naufragados. Todos, compañeros de nuestra vida.

Los hombres del mar

A lo largo de las escalas que han jalonado nuestras travesías, hemos encontrado gentes de todas las etnias, de todas las culturas, que viven del mar y para el mar: pescadores tradicionales de Madagascar, de las Seychelles o de Provenza, que, de padres a hijos, han vivido en armonía con una fauna costera que explotan y que protegen; rudos habitantes de Terranova y atuneros que capturan bancos enteros de peces con sus gigantescas redes; ostricultores bretones, coraleros de Cerdeña o del Japón, pescadores de esponjas griegos y turcos; marinos, en fin, a bordo de los *boutres* o tripulantes que se aburren en las cubiertas de los modernos petroleros gigantes..., sin olvidarnos de los que construyen o reparan los barcos en el mundo entero.

Sus historias son simples, a veces conmovedoras, hechas la mayoría de las veces de pocas palabras. Todos estos rostros, tan diferentes por su origen, tienen el mismo mirar directo y simple, como simbolizando un cierto modo de vivir. En estos ojos descubro la unidad del elemento líquido para el que por tanto tiempo hemos vivido nosotros. Los oceanógrafos modernos y los hombres del *Calypso* son sus hermanos; pero, al ofrecerles nuestra tecnología, parece que se sienten incómodos entre dos tipos de civilización; como si su contacto con nosotros se resintiera de una transformación demasiado rápida. Todos estos rostros me evocan el recuerdo de un momento, de un episodio pintoresco o dramático, vivido en nuestras exploraciones. Playas, bahías, puertos grandes o pequeños, lonjas de pescado, cafetines donde se charla sin parar...; por doquier, tales encuentros nos han hecho entender cuán ajenos somos a ciertas estructuras impuestas por nuestras sociedades tan bien organizadas. Acá y allá, la simpatía instintiva o el trabajo en común han comenzado las bases para nuevas experiencias emotivas y afectivas.

Hemos encontrado rostros semejantes en las costas calcinadas por el sol del mar Rojo, desde Port Sudán hasta Djibouti, o a las puertas del Oriente, en el golfo Pérsico. Y nos han seguido de las Maldivas a las Comores, desde Alaska hasta Sudáfrica. Hermanos de un día, nos han acompañado en misiones difíciles, nos han iniciado en sus métodos de pesca o nos han revelado la existencia de pecios desconocidos, sirviéndonos por igual de intermediarios entre nuestras necesidades y las poblaciones locales.

Estos hombres casi innominados han estado siempre cerca de nosotros en nuestras aventuras submarinas. Mostraban una curiosidad inusitada por ver cómo funcionaban nuestras escafandras, nuestro helicóptero, nuestros submarinos, nuestras cámaras. Y sus preguntas sonaban un poco como un desafío al mundo de la tecnología, que al fin y al cabo puede constituirse para ellos también en una agresión de nuevo cuño. En su mirada intrigada siempre había un dejo de inquietud ante lo que íbamos a hacer bajo el agua. Algo así como si los seres humanos fuéramos una especie de híbrido entre el hombre y Dios, capaces, por consiguiente, de violar con impunidad todos los espacios imaginables.















Los submarinistas del Calypso *siempre se han sentido fascinados por los indígenas del mar: pueblos que no se interesan por los animales marinos sólo por admiración o por razones científicas, sino que los necesitan también para vivir.*

Las armas del instinto

A pesar de la abundante literatura que se les ha consagrado, no hay muchos monstruos marinos que digamos.
Pero esto no quiere decir que todos los animales del océano sean inofensivos. Algunos cuentan incluso con un arsenal tan mortífero que pueden mandar de inmediato al incauto buceador *ad patres*...
Evidentemente, las armas defensivas de los animales marinos no tienen como destinatario específico el hombre, sino que la evolución las ha forjado para que quienes las ostentan puedan sobrevivir en su medio natural. El pez arquero, por ejemplo, eriza tres espinas dorsales sumamente puntiagudas; depredador que intente comérselo quedará con la piel de la boca desgarrada irremisiblemente. Y cuando se come al pez ballesta de las regiones tropicales, provoca una enfermedad llamada *ciguatera,* cuyos síntomas característicos son vómitos, diarrea, dolores abdominales, trastornos de la vista, terribles dolores de cabeza y un debilitamiento general. Pero la manifestación más curiosa de este mal consiste en que el sujeto intoxicado invierte sus sensaciones de calor y de frío. Marden me contaba que un día vio a un hombre envenenado por comer este pez: ¡el paciente soplaba para enfriar un vaso con hielo! Esa misma persona no podía meterse en una bañera llena de agua fría: creía que iba a cocerse, como el explorador en un caldero de antropófago... No se ha descubierto todavía ningún antídoto contra el veneno de la *ciguatera*.
Muchos otros peces son también venenosos, empezando por el famoso *fugu* (o «estrella globular») de la cocina japonesa, que sólo puede ser preparado por cocineros especialmente adiestrados para cortarlo. Otras especies son ponzoñosas:









esto ocurre, por ejemplo, con la araña, que gusta de enterrarse en la arena, asomando sólo las espinas de su aleta dorsal. También el rascacio es bastante peligroso. Y entre los animales inferiores, podemos citar el cono, ese molusco de magnífica concha que puede disparar «dardos» provistos de un veneno fulminante; o a la fisalia, especie de medusa cuyos tentáculos provistos de nematocistos inoculan un veneno mortal... Por eso, el buceador no profesional debe ser muy precavido: la norma general es no tocar ningún animal, aunque parezca que está muerto. Cuando se han experimentado alguna vez las asechanzas del océano, uno se vuelve prudente. La evolución ha inventado todo un arsenal de armas eficaces: y aunque no estén destinadas para nosotros, pueden infligirnos crueles dolores. Los miembros del *Calypso* no hemos tenido nunca ningún accidente de este tipo.











Todos los animales marinos poseen sus propias armas defensivas. En la página anterior, la medusa (arriba) tiene tentáculos urticantes; el Pterois *(centro) posee espinas; el pez ángel duque (abajo, a la izquierda) cuenta con sus colores para engañar al enemigo; la morena (abajo, a la derecha) amenaza con sus puntiagudos dientes; en esta página, las gorgonias (arriba) están provistas de células urticantes, al igual que las anémonas de mar (las cuatro fotografías del centro y abajo), entre las que se esconden los peces payaso.*

Los buzos de Creta

UNA mujer de rostro triangular, de ojos desorbitados que fascinan y dan miedo, con la túnica —que le deja los senos al desnudo pero que le cubre brazos y espaldas— cayéndole hasta los pies... Sus brazos levantados terminan en dos graciosas y diminutas manos que blanden sendas serpientes encolerizadas. Es la diosa de las serpientes, personificación de la diosa madre, cuyo culto era común a todo el área mediterránea. Fue modelada hace 3.600 años por un artista micénico, en la isla de Creta.

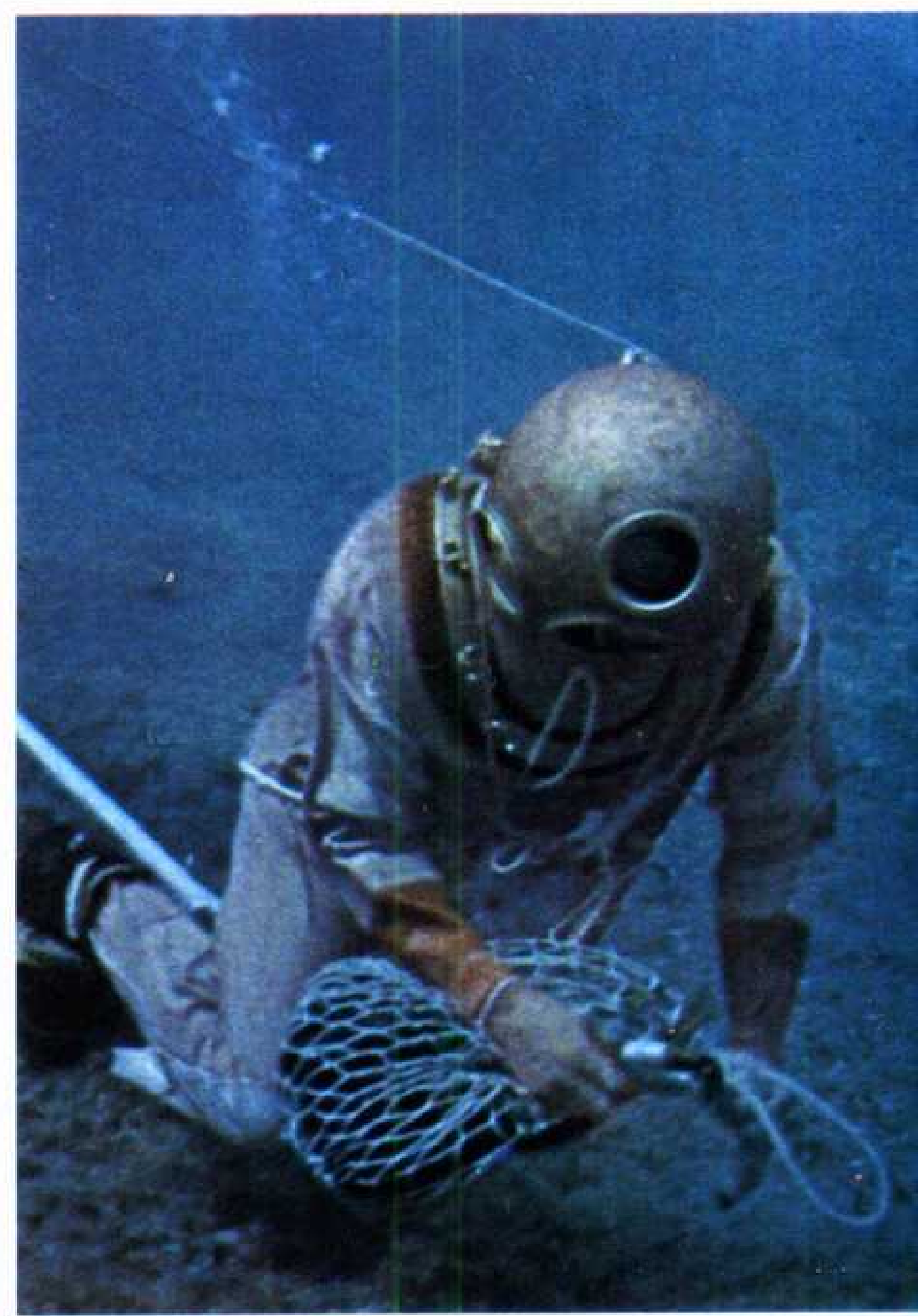
No deja de ser sorprendente el contraste entre los roquedos pelados de las Cícladas, y aun de Grecia, y los ríos y praderas cretenses, la lujuriante planicie de Messaria presidida por el monte Ida, la costa oriental y el maravilloso golfo de Marabelu, rodeado de olivares que descienden hasta el Mediterráneo. Este Mediterráneo que se vuelve púrpura a la sombra de los acantilados y dorado sobre la arena de las soleadas caletas; este mar fecundo ofrecía a nuestros antepasados alimento, ornamentos, mitos que inspirarían a toda la civilización occidental.

Hoy día, los suntuosos palacios de los potentados de antaño, el imponente palacio real de Cnossos, del que no quedan más que algunas ruinas pacientemente reconstruidas por los arqueólogos, han sido sustituidos por blancas casitas, cúbicas, con un estilo que no ha debido de variar mucho al paso de los siglos. Aquí viven los hombres que, desde la noche de los tiempos, cultivan la vid y el olivo, crían cabras y ovejas, y cuyos ejemplos más intrépidos los encarnan marinos, pescadores y buzos...



A nuestro regreso del océano Indico, nos detuvimos unos días en las costas de Creta, donde nos sumergimos junto con los pescadores de esponjas, esos buzos de escafandra rígida que ejercen todavía tan antiguo como arriesgado oficio. Aunque lastrados con las suelas y el cinturón de plomo; agobiados por el pesado casco y trabándose entre cuerdas y tubos, saben darse maña para moverse por el fondo con relativa facilidad, inclinados hacia adelante y doblando las piernas. Ninguna esponja se les escapa, arrancándolas de cuajo con un gancho de hierro y poniéndolas a buen recaudo en una red a propósito. Con ellos hemos pasado veladas memorables, mientras bebíamos el *retzina*, un vino resinoso que quema la lengua y se sube rápidamente a la cabeza. Los pescadores de esponjas nos contaban sus













aventuras submarinas, unas ciertas, otras perfectamente inverosímiles, transmitidas de padres a hijos... Y yo pensaba en *La Odisea*...

Finalmente, a las tres de la tarde del 27 de junio de 1955, después de recorrer 15.000 millas marinas en seis meses, regresábamos a Marsella; pero sólo por dos semanas.

El 11 de junio, en efecto, el *Calypso* volvía a hacerse a la mar en el Mediterráneo oriental para llevar a cabo una serie de estudios hidrológicos y biológicos. Durante dos meses, efectuamos un centenar de estaciones en todo el archipiélago griego, complementando los métodos clásicos de obtención de muestras con nuestros propios métodos de inmersión aplicados a las ciencias del mar, y que poco a poco logramos hacer populares en el ambiente científico.

Y, por fin, la última misión del año: una demostración de televisión submarina. En pantallas instaladas a bordo del *Calypso,* doscientas personas pueden observar cómo un grupo de submarinistas inspeccionan los cimientos de un muelle en el puerto de Marsella. Se trata de la primera prueba de las nuevas cámaras construidas por la Oficina Francesa de Investigaciones Submarinas, organismo encargado de desarrollar los instrumentos que requerimos en nuestras investigaciones, en colaboración con Thomson Houston.

En 1955, el Calypso *emprendió una travesía por el Mediterráneo oriental. Fue entonces cuando se produjo el histórico encuentro entre los pesados buzos (pescadores de esponjas) y los submarinistas con escafandra autónoma, libres, ligeros, sin traba alguna en el mar.*



Cámaras que permiten captar imágenes en las aguas más turbias gracias a un gran cono de agua clara producido ante el objetivo, controlando así el desarrollo de los trabajos de construcción o de reforzamiento de los muelles del puerto. Yo estoy firmemente convencido de la fuerza de las imágenes, bajo todas sus formas, y la televisión submarina no hace sino añadir una nueva posibilidad a esta filosofía.

Poner ante los ojos... Este es, a fin de cuentas, el objetivo de todas las expediciones que he organizado. La naturaleza, y en especial el universo submarino, apenas si son conocidos del gran público. Para defenderlos, hay que empezar por mostrarlos. Su riqueza y esplendor son entonces los mejores argumentos para su preservación.

El Festival de Cannes

PRIMAVERA de 1956: el *Calypso* entra en el puerto de Cannes, donde, en el Festival Internacional de Cine, nuestra película *El mundo del silencio* recibe la Palma de Oro en todas las categorías, una recompensa inesperada.

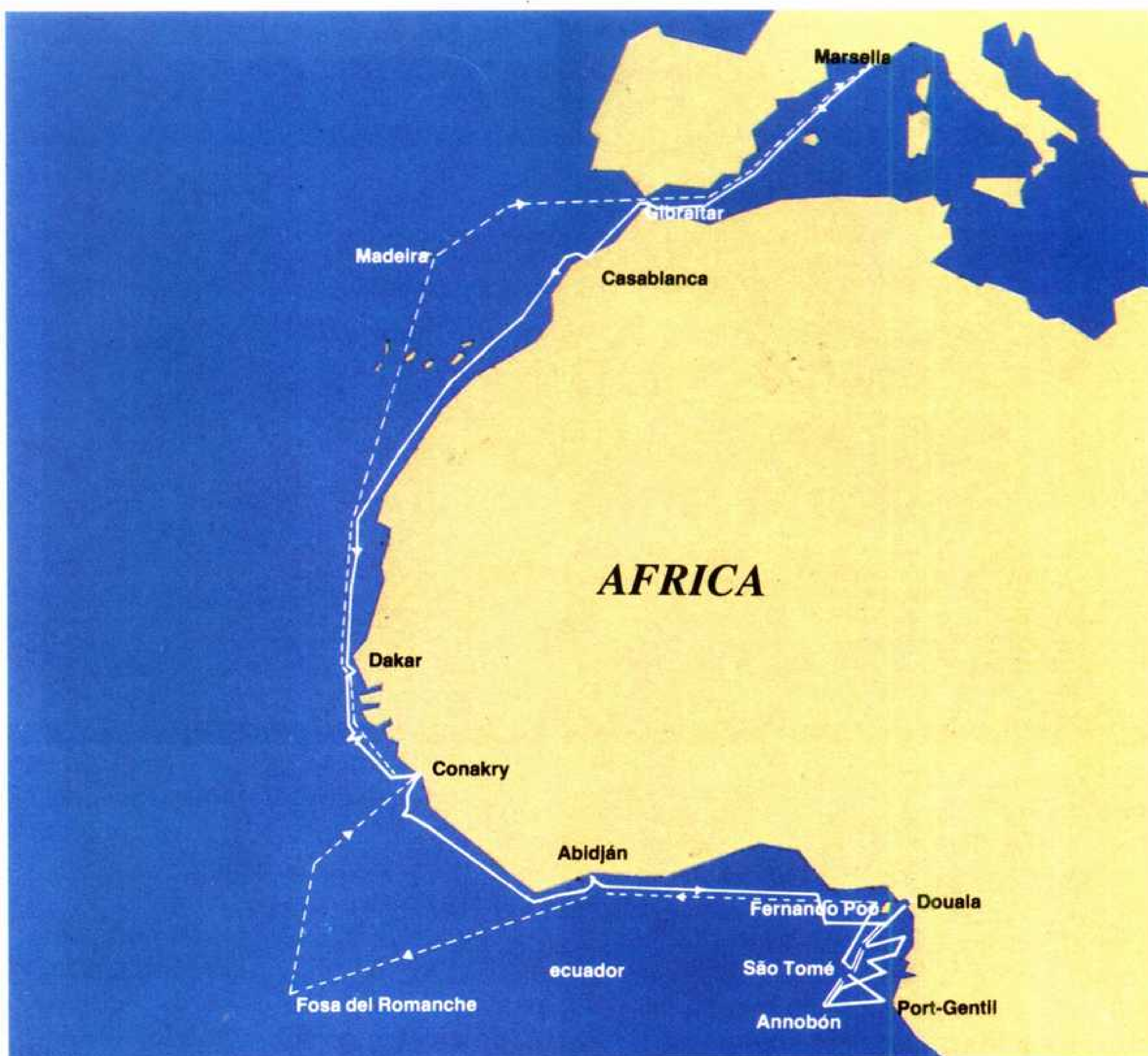
Pero otras tareas nos aguardan: a principios de mayo zarpamos para una prolongada travesía que tiene dos finalidades distintas. La primera parte de la misión, elaborada en colaboración con el Museo Nacional de Historia Natural, estará consagrada a estudiar el medio marino y la fauna existente frente a las costas de Guinea, del Camerún, del Senegal y de Costa de Marfil, y particularmente la de las islas del golfo de Guinea, las «islas del chocolate», todavía entonces bajo control portugués y español. La segunda parte la dedicamos, junto con mi amigo el profesor Harold Edgerton, del Massachussetts Institute of Technology, a probar diferentes tipos de cámaras automáticas para grandes profundidades, y al anclaje del *Calypso,* con un cable de nailon, en la fosa del Romanche (en pleno océano Atlántico), exactamente a 7.631 metros de profundidad.

En pocas semanas se suceden Casablanca, Dakar, Conakry, Abidján y Douala. Pasamos mes y medio en las islas de Fernando Poo, Príncipe, São Tomé y Annobón. Uno de los principales recursos económicos de estas tierras consiste en el cultivo y comercialización del cacao. En Annobón, la más meridional de las islas del grupo, hace estragos una epidemia de la enfermedad del sueño —transmitida, como se sabe, por la mosca tse-tse—, que los soldados combaten eliminando a disparo limpio a todo mamífero que anda por la isla: perros, gatos, cerdos, vacas... Es una matanza que nos pone un nudo en la garganta.

En el curso de esta travesía, innumerables inmersiones, incesantes dragados y rastreos permitirán enriquecer considerablemente las colecciones del museo, revelando incluso la existencia de nuevas especies de animales marinos.

Tras el experimento con éxito del anclaje profundo en la fosa del Romanche, que constituye un récord mundial y nos permite poner de manifiesto, mediante las fotografías que tomamos, formas de vida que prosperan a una presión de más de 760 atmósferas, regresamos a Marsella, después de una campaña de inmersiones en Madeira. Tuvimos que interrumpir el experimento de la fosa del Romanche cuando nos enteramos de que el hijo mayor del profesor Edgerton había muerto buceando en los Estados Unidos. Acompañé a Norteamérica a mi amigo y regresé de nuevo al *Calypso,* que estaba ya en Madeira.

Después de varias misiones en aguas corsas, siguió, en 1957, un inesperado intervalo. Con ocasión de la primera emisión submarina por Eurovisión organizada por Francia, la radiotelevisión francesa decide transmitir en directo las actividades de nuestro equipo en el fondo del mar. Elegimos tres diferentes escenarios: el pecio griego del Grand-Conglué, el puerto de Marsella y los restos de un reciente naufragio, también frente a las costas marsellesas. El 15 de junio, toda Europa asiste en estreno mundial a nuestras tareas bajo el agua. Ocho días después se realiza una segunda emisión, esta vez de noche, sobre el pecio del *Dalton,* que había sido tratado en una de nuestras primeras películas.

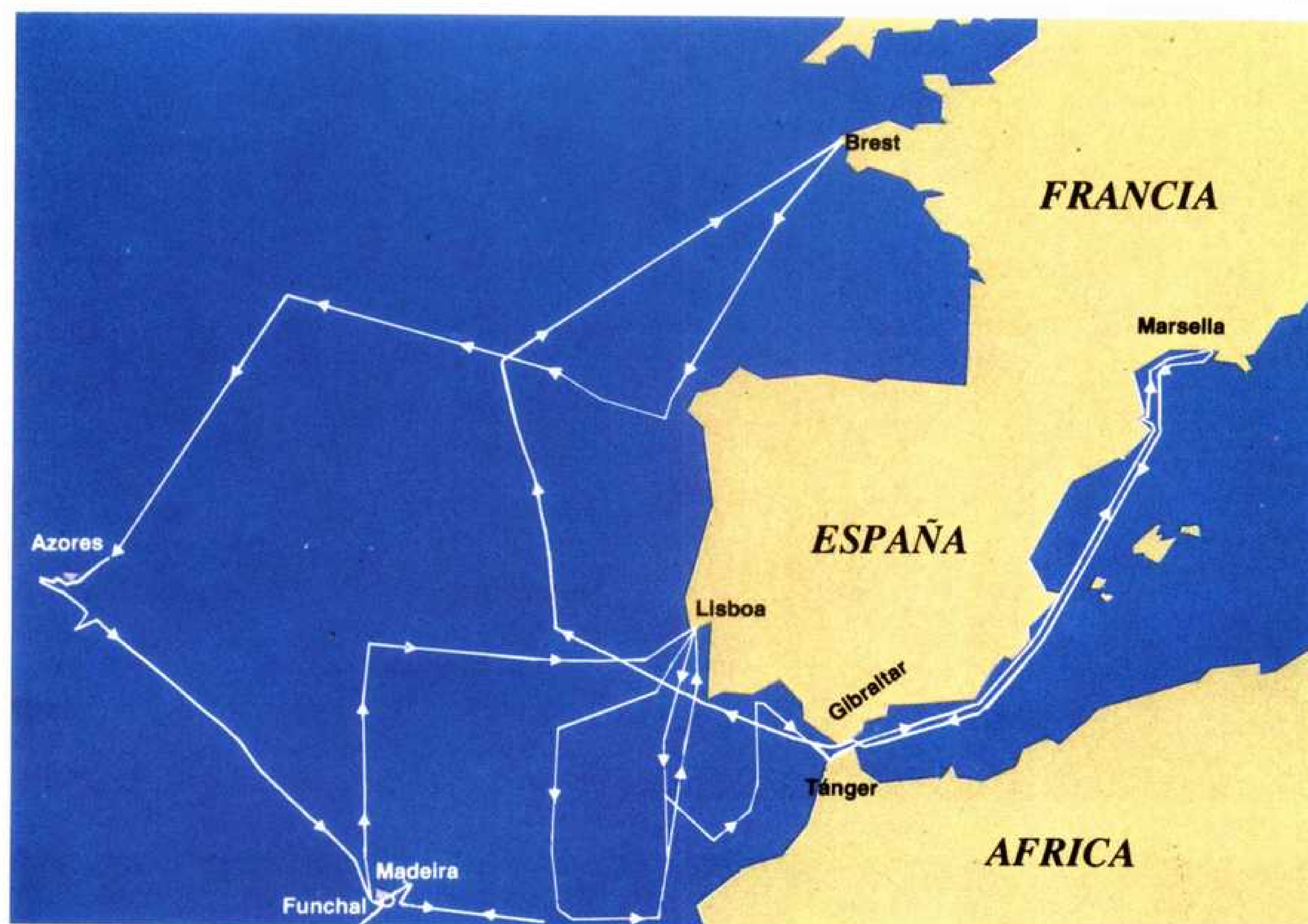




En 1956, el Calypso *llevó a cabo una travesía a lo largo de las costas del Africa noroccidental. Uno de los momentos importantes en esta misión fue el anclaje en aguas muy profundas, en la fosa del Romanche, para el que se tuvo que utilizar un cable especial de nailon (encima).*

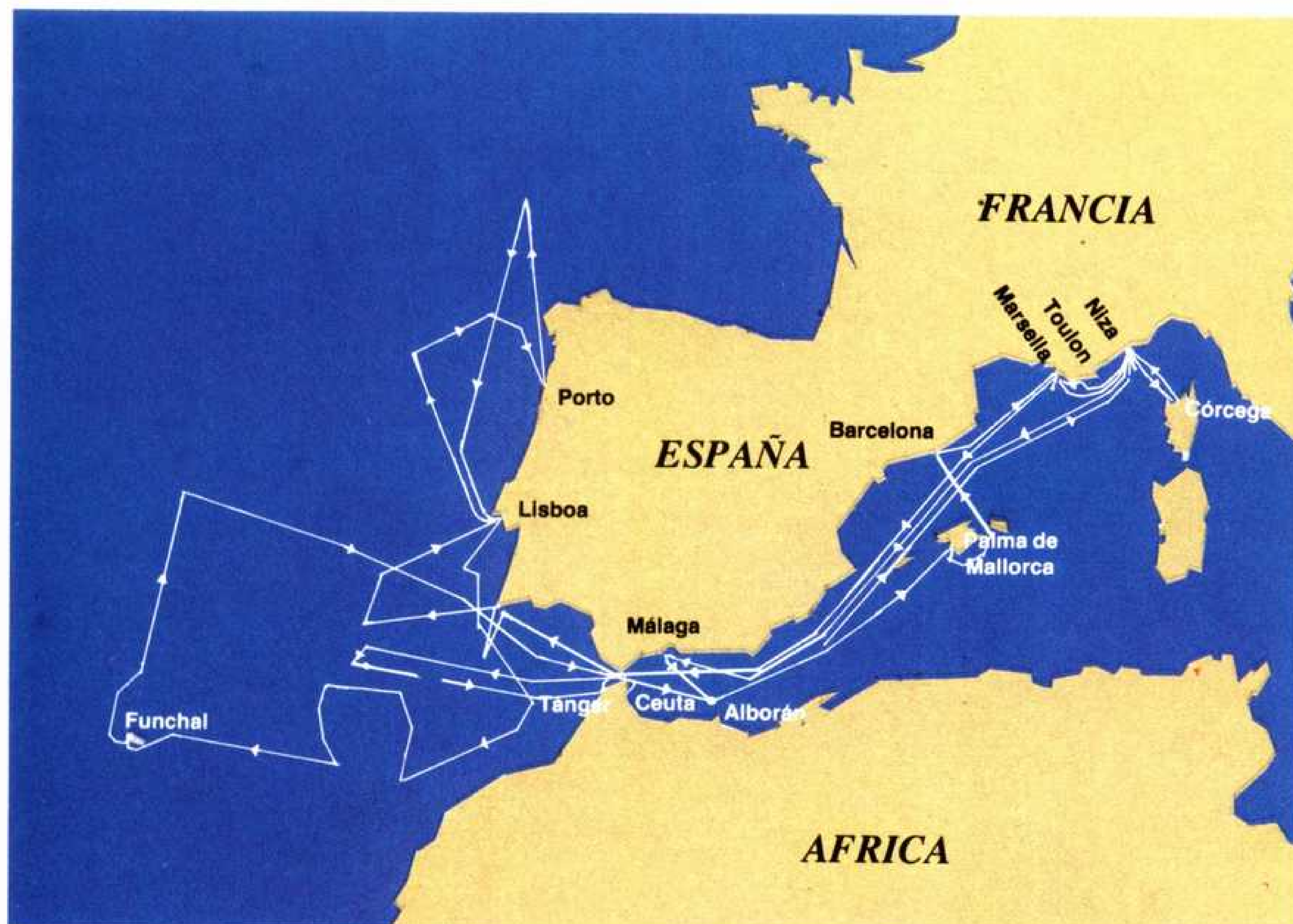
En primavera participo en las primeras inmersiones del batiscafo *FNRS III:* y durante el verano estudiamos, con ayuda de un correntómetro electrónico, las corrientes del estrecho de Gibraltar.

Es también 1957 el Año Geofísico Internacional. El *Calypso* se consagra a una larga travesía que nos lleva del Mediterráneo a Brest, y luego a las Azores, a Lisboa y a Tánger, para seguir, en el





Con ocasión del Año Geofísico Internacional, que empezó en 1957, al equipo del Calypso *se le encomendaron numerosas misiones en todos los campos de la oceanografía. Así, asistimos a las inmersiones profundas del batiscafo francés* FNRS III *(fotografía de arriba).*



En 1958, una serie de misiones de hidrología y biología marina llevó al Calypso *desde el Mediterráneo hasta el Atlántico nororiental. Esta campaña culminó con el descubrimiento, cerca de la isla de Alborán, de un bosque submarino de laminarias gigantes. En la fotografía de la derecha, una de estas plantas.*



océano Atlántico (efectuando numerosas estaciones hidrográficas), el itinerario exacto de las aguas mediterráneas (más saladas) que salen por el estrecho de Gibraltar, por debajo de las aguas atlánticas que entran al Mediterráneo.
En 1958, durante una serie de misiones en el Mediterráneo occidental, y en el transcurso de un dragado en Alborán, descubrimos un bosque de laminarias a 40 metros de profundidad: algas gigantes con «troncos» de dos a tres metros de altura y «hojas» de 30 centímetros de ancho y seis metros de longitud.
Más tarde dedicamos la primera mitad de 1959 a una delicada misión que nos confió la Sociedad Nacional del Gas francesa. Se trataba de estudiar la posibilidad de instalar sobre el fondo marino, a 2.400 metros de profundidad, un gasoducto de 180 kilómetros de largo que uniría a Argelia con España, para abastecer de gas natural a Europa. Recurrimos a todo un abanico de modernos aparatos y, como lo veremos detalladamente más adelante, en seis meses llegamos a la conclusión de que era posible emprender semejante empresa.
El *Calypso* zarpó luego para Estados Unidos, donde, en Nueva York, participaría en el I Congreso Mundial de Oceanografía. En el transcurso del viaje fotografiamos por primera vez con la *troika* (nuestro nuevo trineo fotográfico de gran profundidad) extrusiones de lava en el Rift Valley atlántico, que confirmaron las teorías de la deriva de los continentes.
Ya he descrito en otra parte la espectacular acogida que se dispensó a nuestro barco en Estados Unidos. De allí zarpamos para explorar, nuevamente con nuestro trineo fotográfico, la fosa de Puerto Rico (−8.385 metros), la más



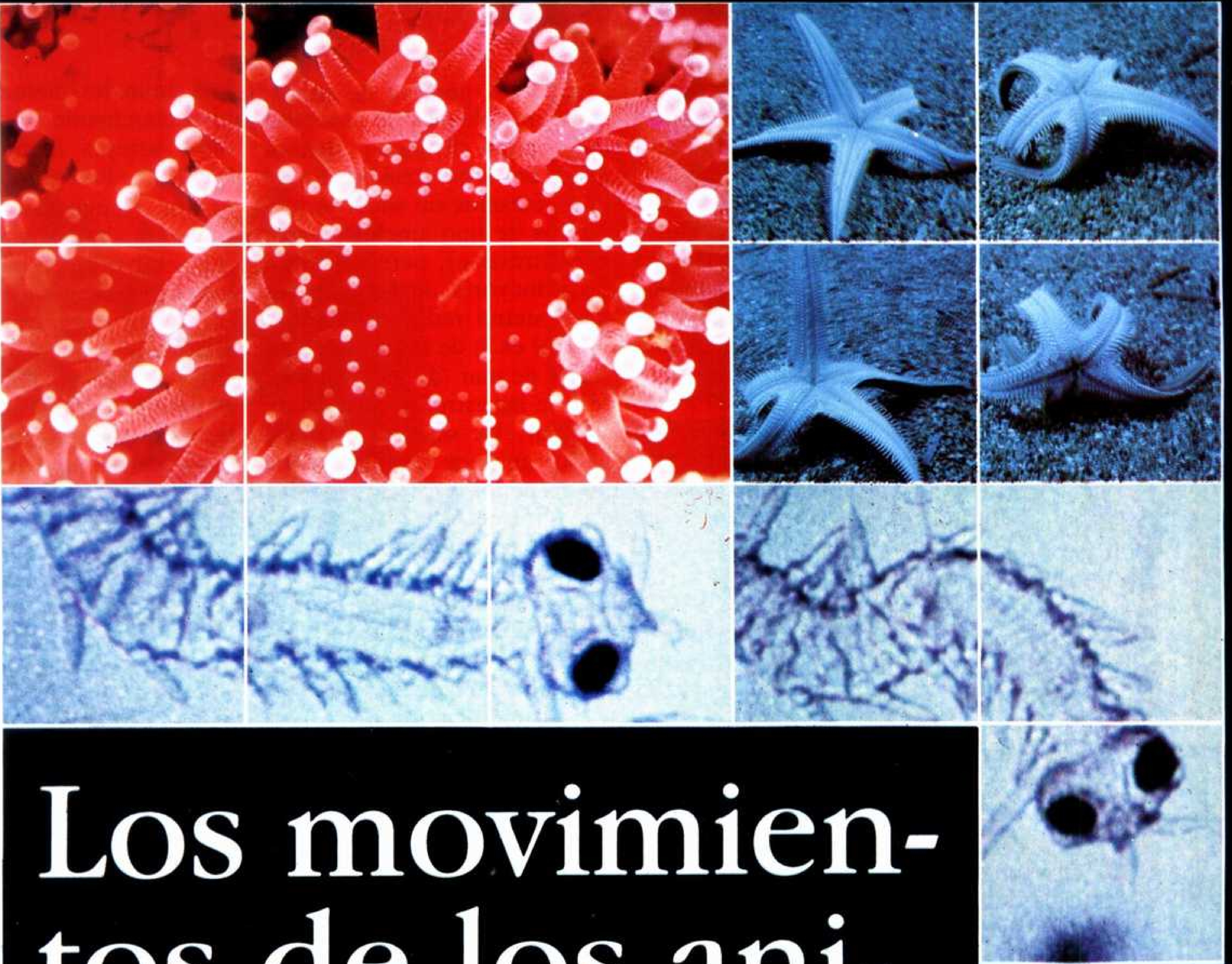


Fue en 1959 cuando el Calypso *fondeó por primera vez en el puerto de Nueva York. Su llegada a América suscitó una ola de memorable entusiasmo. En el transcurso de su viaje transatlántico había pasado por las islas de Cabo Verde (fotografía de arriba).*

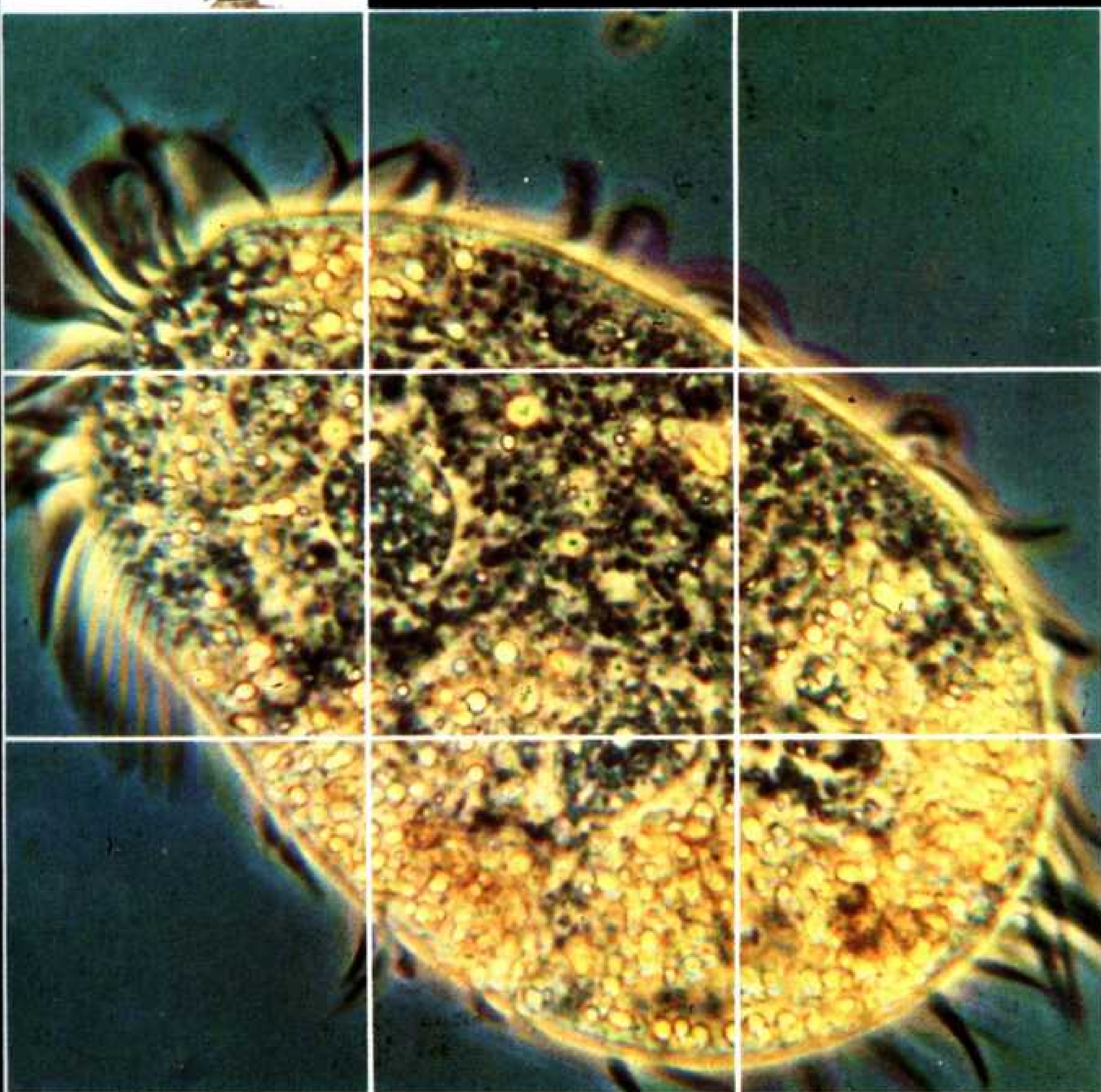
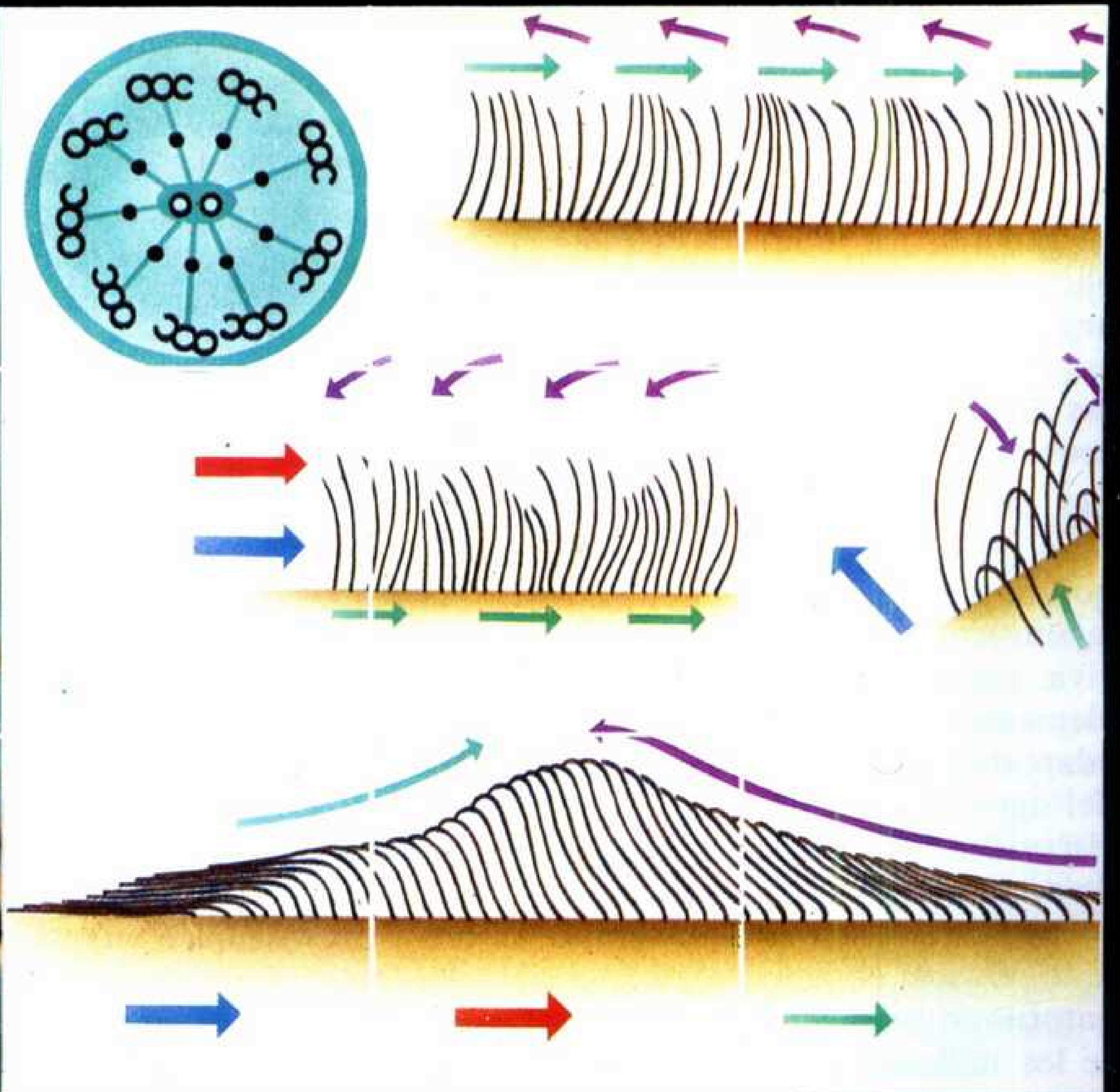
profunda del océano Atlántico. En aguas de Guadalupe probamos en inmersión real nuestro platillo buceador.

Al volver del mar de las Antillas, reanudamos nuestros estudios de las costas africanas, con una prolongada estancia en las islas de Cabo Verde, cuya fauna marina empezamos a catalogar, particularmente en las islas de São Tiago, de Fuego y de Do Sal.

En estos dos breves capítulos he resumido las actividades de nuestro equipo durante un período transitorio que hemos dado en llamar los «años de *El mundo del silencio*». Período que abarca desde nuestras primeras experiencias de investigación submarina, cuando el *Calypso* era apenas una esperanza, hasta los «años de *El mundo sin sol*» y de la «gran travesía», viaje de siete años durante el cual, al tiempo que realizábamos películas importantes, pudimos explorar la mayor parte de los océanos del globo.

Los movimientos de los animales marinos

La arquitectura del cuerpo animal

La biología marina puede dividirse en un cierto número de capítulos, más o menos artificialmente aislados entre sí, pero que tienen una unidad real. Cuando se quiere estudiar el movimiento de los animales oceánicos, es sumamente difícil establecer tales límites. Fundamentalmente, el agua es movimiento. En el mar no hay nada que no se mueva. El fluido va y viene, y los animales que en él se encuentran están sometidos a este vaivén. Todas las especies parecen a veces, como un plancton universal, no formar más que una sola cosa con el elemento en el que evolucionan, crecen y mueren.

La clásica distinción entre el plancton (el conjunto de criaturas incapaces de resistir a las corrientes por sus propios medios), el necton (los animales que nadan), el bentos sésil (los animales fijos al fondo) y el bentos vágil (los animales que marchan o reptan por el fondo), muestra bien a las claras la importancia del movimiento en el mar. Pero si resulta práctica, esta distinción no siempre es tan rigurosa como sería de desear.

El estudio de los movimientos de los animales no puede separarse del de su forma corporal: ésta los determina ampliamente. Se ha llegado a hablar, como hace R. B. Clark, de «estilos de arquitectura animal». «Muchos son los estilos en cuestión —escribe Clark—, pero si se descartan las variaciones particulares puede decirse que se concretan en tres grandes tipos: el estilo románico, el estilo gótico y el estilo barroco. De hecho, con tal de definir bien las terminologías, podría hablarse de arquitectura animal en términos tan familiares a la historia del arte como a la biología.»

El estudio de la arquitectura animal resulta más fácil si se tienen en cuenta dos principios esenciales. El primero es que, en general, los animales tienden a complicar su estructura en el curso de la evolución. El segundo es que los organismos están edificados sobre la base de rigurosas leyes mecánicas, en función de los problemas que plantea el entorno.

Las características físicas y químicas del agua han influido profundamente —se podría incluso decir: condicionado— en la estructura del conjunto de la materia viva. Los animales que se quedaron en el elemento líquido tuvieron además que adaptarse a las propiedades particulares del agua como soporte. La densidad, la viscosidad, el peso específico del agua, determinaron la constitución de formas particulares. Cada rama evolutiva ha tratado de sacar el mayor partido posible del entorno en que se encontraba. En el curso de los millones de años de la evolución aparecieron un cierto número de estilos. Los estudios de morfología y de anatomía comparadas permiten distinguir algunos grandes planos de organización. En el mar existen organismos sin simetría (como los protozoos de tipo amebiano, que no cesan de deformarse), pero son poco numerosos. La mayoría de las especies muestran una simetría radial o bilateral. La simetría radial es la de los radiolarios, de las anémonas de mar, de las medusas, de los corales, de las estrellas de mar, de los erizos de mar. La simetría bilateral caracteriza a los gusanos anélidos, a los moluscos gasterópodos y cefalópodos, a los crustáceos, a los peces... Naturalmente, ciertas variaciones pueden introducirse en el modelo de base: por ejemplo, los moluscos gasterópodos tienen el cuerpo simétrico con relación a un plano vertical, pero su concha a menudo está enrollada en espiral a derecha o a izquierda, de forma totalmente asimétrica.

Un cierto número de animales de simetría bilateral están formados por segmentos todos semejantes (por lo menos en su arquitectura básica), llamados anillos o metámeros. Los primeros animales que, en el orden de la evolución, adoptaron este esquema corporal fueron los anélidos. Se encuentra también en los crustáceos y en los demás artrópodos.

Los animales de simetría radial no están bien dispuestos para la natación: un cuerpo construido sobre este plano apenas puede propulsarse. Los radiolarios y las medusas forman parte del plancton: aun cuando las medusas logran efectuar movimientos propios contrayendo su sombrilla, están condenadas a vagar a merced de las corrientes. Los equinodermos (estrellas de mar, erizos de mar, ofiuros), cuando no están fijos en el fondo (como los lirios de mar) se arrastran por él lentamente, gracias a pequeños órganos motores (llamados pies ambulacrales). Las holoturias, o cohombros de mar, que también se arrastran por el fondo, tienen una simetría secundaria casi bilateral.

Los mejores nadadores están, pues, dotados de una simetría bilateral. Su cuerpo, más o menos flexible y más o menos musculado, avanza en el elemento acuático apoyándose sobre él, alternativamente de uno y otro lado. Muchas de estas especies han adquirido, en el curso de la evolución, órganos especializados que las ayudan en su avance: las aletas han sido «inventadas» varias veces en la historia de la vida, bajo aspectos a veces sorprendentes. Entre el flagelo del silicoflagelado microscópico y la cola de la ballena existe una necesaria convergencia de formas. Asimismo, las aletas del calamar y las de las rayas tienen puntos comunes. Los animales metamerizados se mueven bien marchando sobre el fondo gracias a unos artejos locomotores (como, por ejemplo, los grandes crustáceos: cangrejos, langostas, etc.), o bien contrayendo alternativamente algunos de sus segmentos. De este modo logran nadar. Los crustáceos superiores escapan a sus enemigos contrayendo bruscamente su abdomen: este movimiento les hace ejecutar auténticos saltos para atrás.

El estudio de los embriones de los animales permite resolver algunos problemas apasionantes que conciernen a la arquitectura del cuerpo de los adultos. Desde este punto de vista, el reino animal puede dividirse en tres grandes categorías. La primera está formada por los animales unicelulares: los protozoos. La segunda está constituida por los animales pluricelulares (metazoos) cuyo embrión no tiene sino dos capas de células, el ectodermo y el endodermo. En este grupo de las especies diblásticas se clasifica a las esponjas (espongiarios), en las que a menudo falta la simetría, y los celentéreos; entre estos últimos, los cnidarios poseen una simetría generalmente radiada (tanto los hidrozoos como las hidras y las anémonas de mar; los escifozoos o las medusas; los antozoos o los corales); los celentéreos cnidarios, o ctenóforos, en contrapartida, tienen muy frecuentemente una simetría bilateral o casi bilateral.

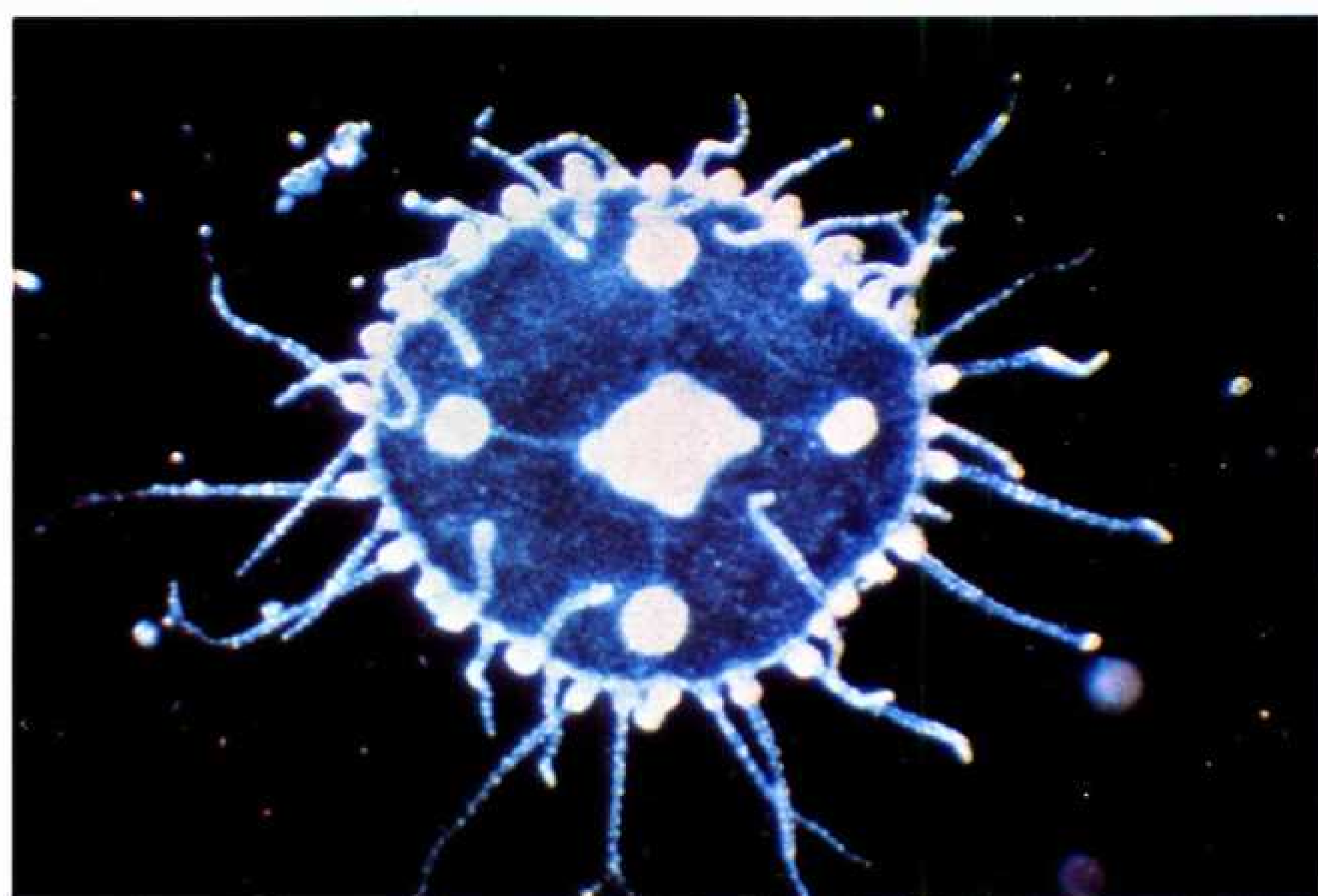
La tercera gran categoría animal es la de los metazoos cuyo embrión posee tres capas celulares (ectodermo, mesodermo y endodermo): estos animales triblásticos comprenden los gusanos planos, los gusanos redondos, los gusanos anélidos, los artrópodos, los moluscos, los equinodermos, los procordados y los vertebrados. Aparte de los equinodermos, presentan en su mayoría una simetría bilateral.

El arte del movimiento es sumamente complejo. Y han sido los seres microscópicos los que lo inventaron. En éstos, el desplazamiento en el agua está asegurado, sea por cilios vibrátiles (cuya acción permite nadar) o por la emisión de seudópodos (a la manera de las amebas), o también por la acción de uno o de varios latiguillos o flagelos. El movimiento no es propio de los animales unicelulares: los vegetales microscópicos lo practican también (como las euglenas, los silicoflagelados y los mixomicetos), e incluso las células reproductoras masculinas (espermatozoides).

En los animales pluricelulares, el movimiento depende a veces también de cilios; así avanzan ciertos ctenarios. Pero las más de las veces pone en juego tejidos especializados, formados por células contráctiles muy modificadas con relación a







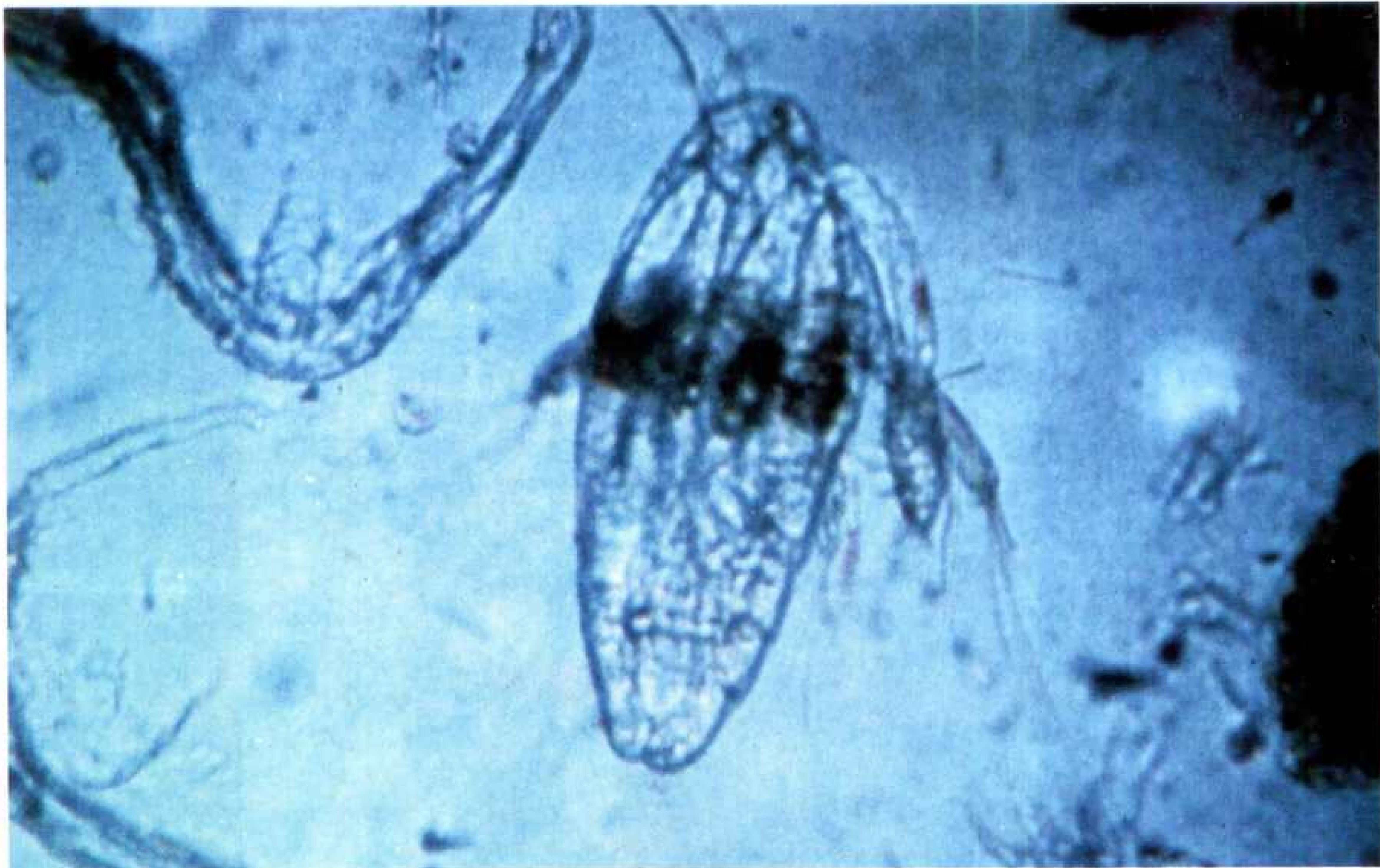


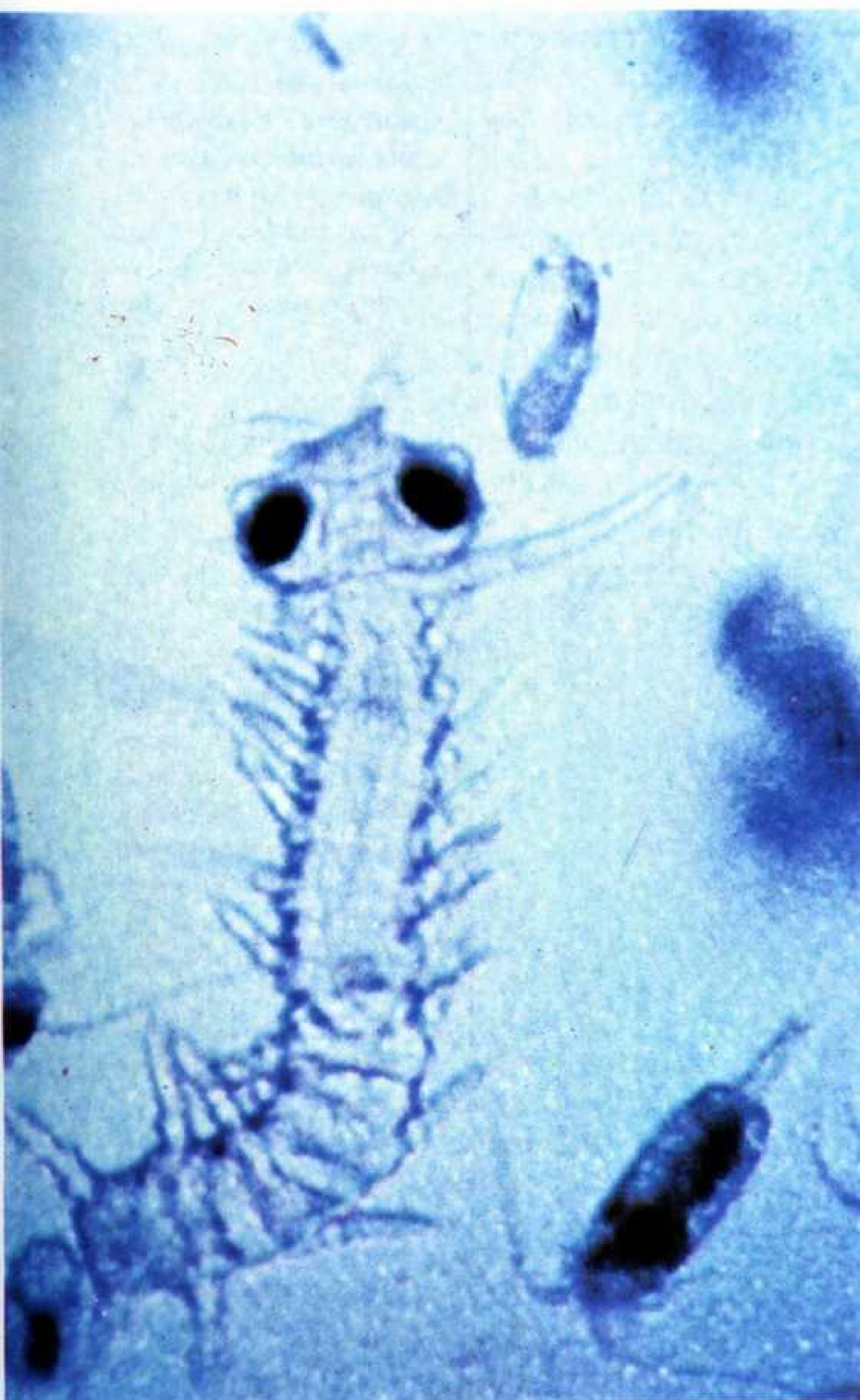


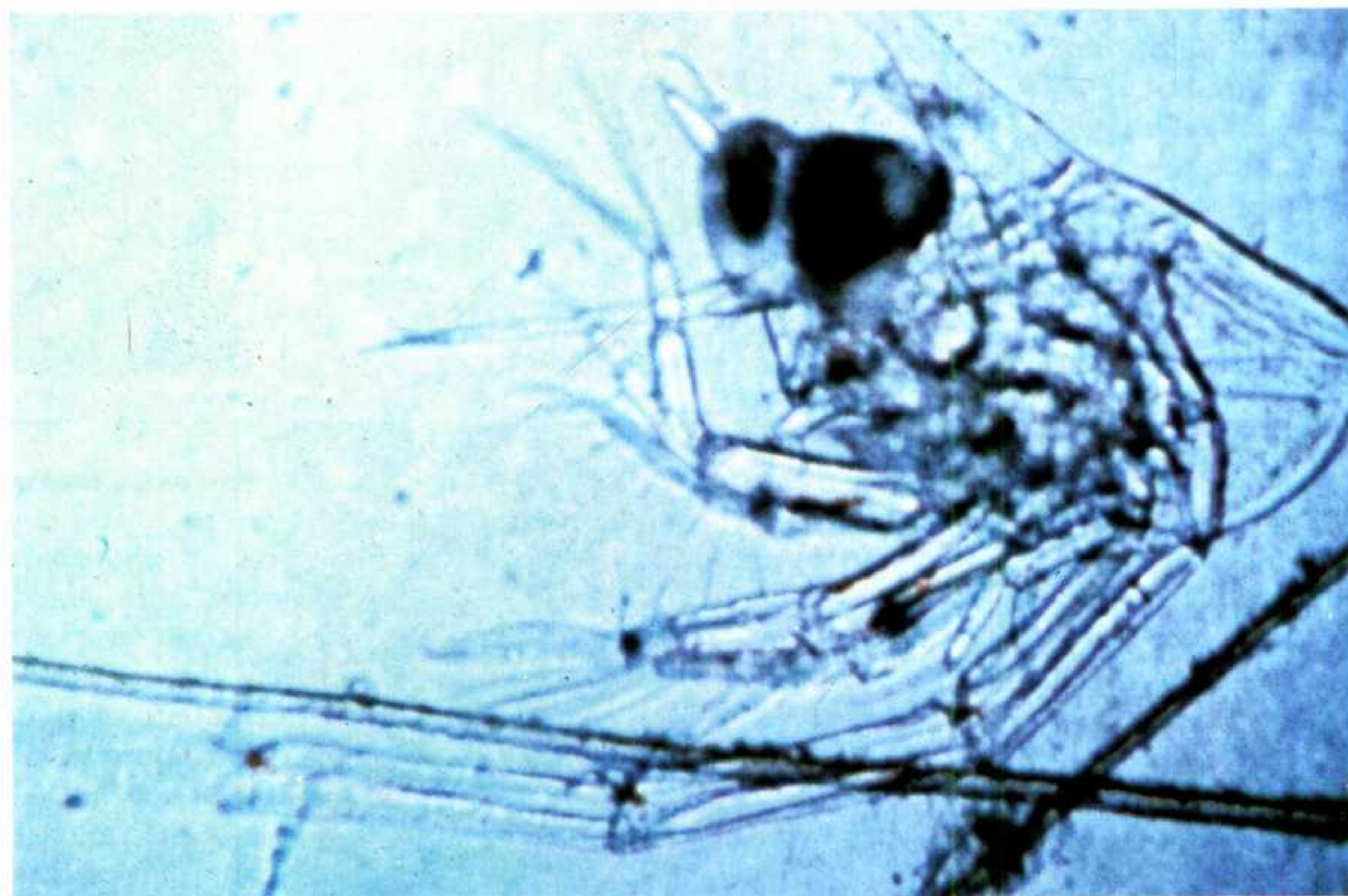


Los tipos de simetrías. *La organización del cuerpo de los animales pluricelulares, con algunas pocas excepciones, obedece a una cierta simetría. La simetría radial es muy frecuente en los celentéreos cnidarios, cuyo ejemplo puede ser la anémona de mar (esquema de arriba, a la izquierda). Entre los demás cnidarios concebidos sobre el mismo plano, podemos citar a las medusas (las dos fotografías de encima). Las dos fotografías de la izquierda muestran a anémonas de mar rojas, con (en la de arriba) un gusano anélido sedentario, con los tentáculos desplegados y, él también, una simetría llamada bilateral. Este segundo gran tipo de organización corporal fue, por decirlo de algún modo, «inventado» en el curso de la evolución por los celentéreos cnidarios, o ctenóforos (en el dibujo de al lado, a la izquierda).*



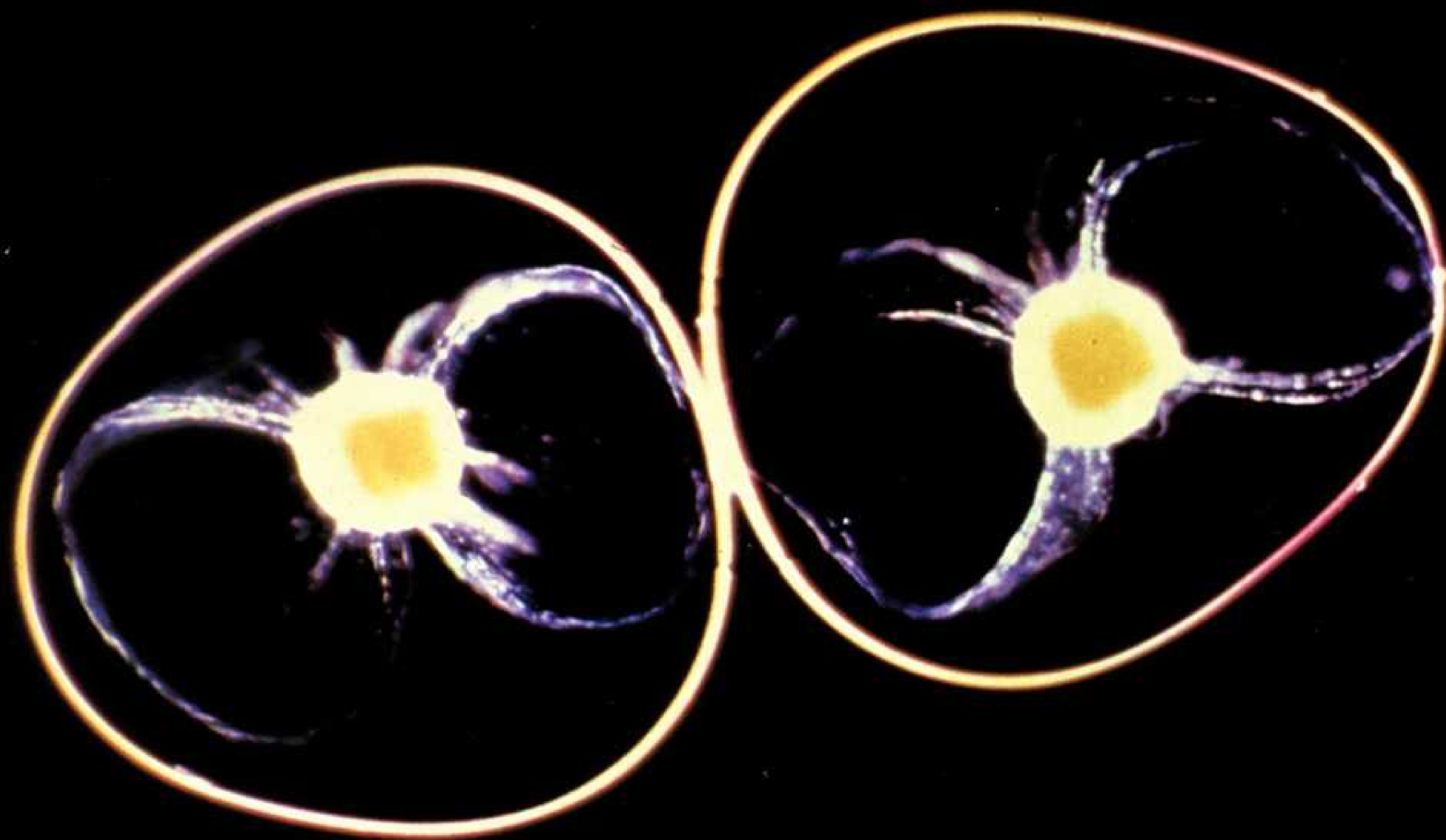


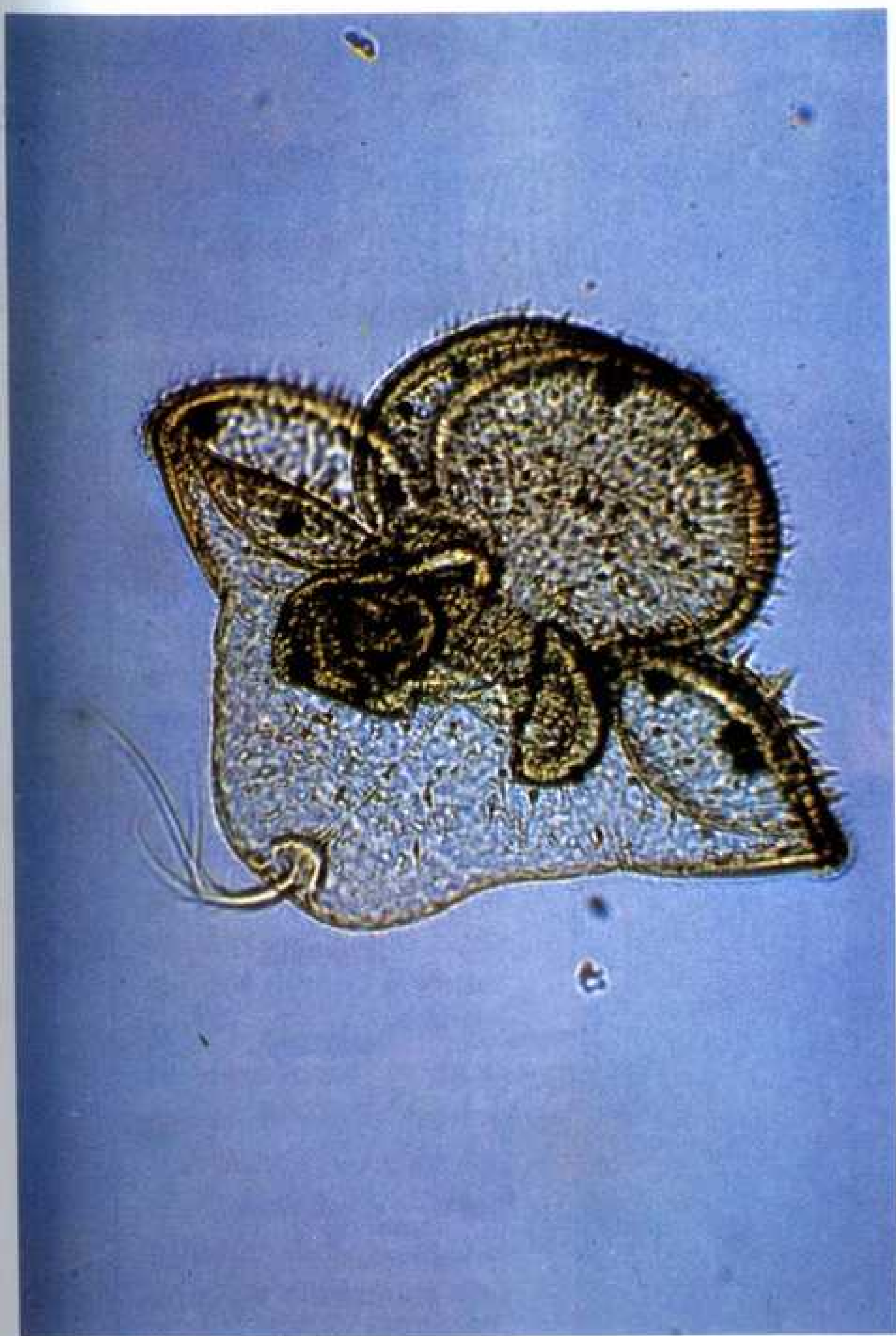






Los movimientos del plancton. *A pesar de todo, los seres planctónicos son capaces de nadar. Las larvas que componen una buena parte del zooplancton evolucionan gracias a diversos dispositivos motores (cilios vibrátiles, seudópodos o patas articuladas, paletas natatorias, etc.). Esta página muestra algunos ejemplares vistos al microscopio. En la página siguiente, arriba: dos dinoflagelados, algas microscópicas provistas de flagelos. Abajo: una larva de gusano nemertino* Cerebratulus lacteus.





las demás: los músculos. Estos se encuentran en mayor o menor grado bajo la dependencia de fibras nerviosas, que coordinan su acción. Incluso en un animal sumamente simple, como la gran medusa aurelia *(Aurelia)*, que no posee sistema nervioso en cuanto tal, las contracciones de la sombrilla están reguladas por la excitación «en fase» de células neuronales diseminadas.

En el transcurso de la evolución, la arquitectura del cuerpo evolucionó tempranamente en función de la necesidad de asegurar un rendimiento óptimo de la acción de los músculos. En los animales que reptan o que marchan, las velocidades alcanzadas no pueden ser considerables. La naturaleza ha obrado sobre todo de manera que se refuercen las defensas individuales (caparazones, espinas, etc.). En las especies nadadoras es esencial el hidrodinamismo: éste permite obtener el mejor rendimiento energético posible, y la mayor eficacia del desplazamiento. La resistencia del agua, su viscosidad, los fenómenos de turbiedad originados por los cuerpos que en ella se desplazan: todo esto dicta limitaciones de formas. El organismo debe ser ahusado, de manera que hienda el agua, y construido de suerte que el deslizamiento del líquido a lo largo de sus flancos se efectúe lo más armoniosamente posible.

Se puede establecer un paralelo entre las técnicas de propulsión de los animales acuáticos y las que el hombre ha inventado. Pero todavía estamos lejos de igualarlas. En el agua, el hombre avanza con una grotesca torpeza si se compara con el nadar de gestos armoniosos que despliega el menor de los peces. Nuestras aletas son pálido remedo de las aletas de los peces. Nuestros trajes isotermos no valen gran cosa, comparados con la capa de grasa de los delfines y las focas. Pero, sobre todo, nuestra musculatura es demasiado débil para garantizarnos los rendimientos de que son capaces los grandes corredores del océano. Hemos aplicado simplemente a nuestros ingenios de navegación los mismos principios que han perfilado el cuerpo de los peces y de los delfines, y hemos sustituido la energía muscular por otras formas de potencia.

La invención del movimiento

Los biofísicos afirman acertadamente que existe una relación precisa entre las dimensiones de un animal y el rendimiento dinámico de sus movimientos. Se puede comprobar esta ley tomando como ejemplo a los platelmintos, es decir, al gran *phylum* de los gusanos planos. Algunos de ellos tienen dimensiones reducidas; otros son más grandes, y algunos hasta gigantescos. Todos están dotados de un número más o menos elevado de cilios vibrátiles, cuyo rítmico movimiento contribuye a la propulsión. Cuando un animal se mueve en un líquido, hay que tener en cuenta la inercia y la viscosidad del medio. La relación entre la inercia y la viscosidad, conocida con el nombre de «número de Reynolds», juega un gran papel; la velocidad de desplazamiento del organismo le es directamente proporcional, y es igualmente proporcional a sus propias dimensiones. En los animales de reducido tamaño, como los infusorios, la fuerza de intensidad es menospreciable en relación con la viscosidad del agua. Cuanto mayor es la especie, más determinante se hace la fuerza de inercia.

Los microplatelmintos, que avanzan gracias a los movimientos de numerosos cilios vibrátiles, obedecen a leyes de desplazamiento muy diferentes de aquellas a las que obedecen las grandes especies del *phylum*. Estas últimas, por lo demás, se sirven no sólo de cilios vibrátiles, sino también de auténticos músculos, situados bajo sus células epidérmicas.

Al igual que los platelmintos representan el paso entre los animales con dos y con tres capas embrionarias (en el orden de la evolución son los primeros seres triblásticos), así también son los que «inventaron» el movimiento muscular.

Cuando los animales no se mueven solamente en el agua, sino también sobre el fondo, la velocidad de su desplazamiento depende de las fuerzas de frotación sobre el substrato. Los platelmintos turbelarios deben, así, vencer esta resistencia, arrastrándose por la arena. Para ello utilizan esencialmente una serie de músculos longitudinales, pero recurren igualmente para ciertos movimientos a los músculos circulares u oblicuos. Los tejidos de los turbelarios son bastante elásticos, fuera de los que constituyen su cavidad gastrointestinal. Lo cual es indispensable para mejorar su rendimiento.

Los estudios de anatomía y de fisiología comparadas han puesto de manifiesto que, desde el punto de vista físico, el cuerpo de los platelmintos se comporta como el de los celentéreos, los cuales están dotados de una especie de «esqueleto hidrostático» compuesto por el agua que los tejidos encierran, y cuya presión varía según el estado de turgencia de las células.

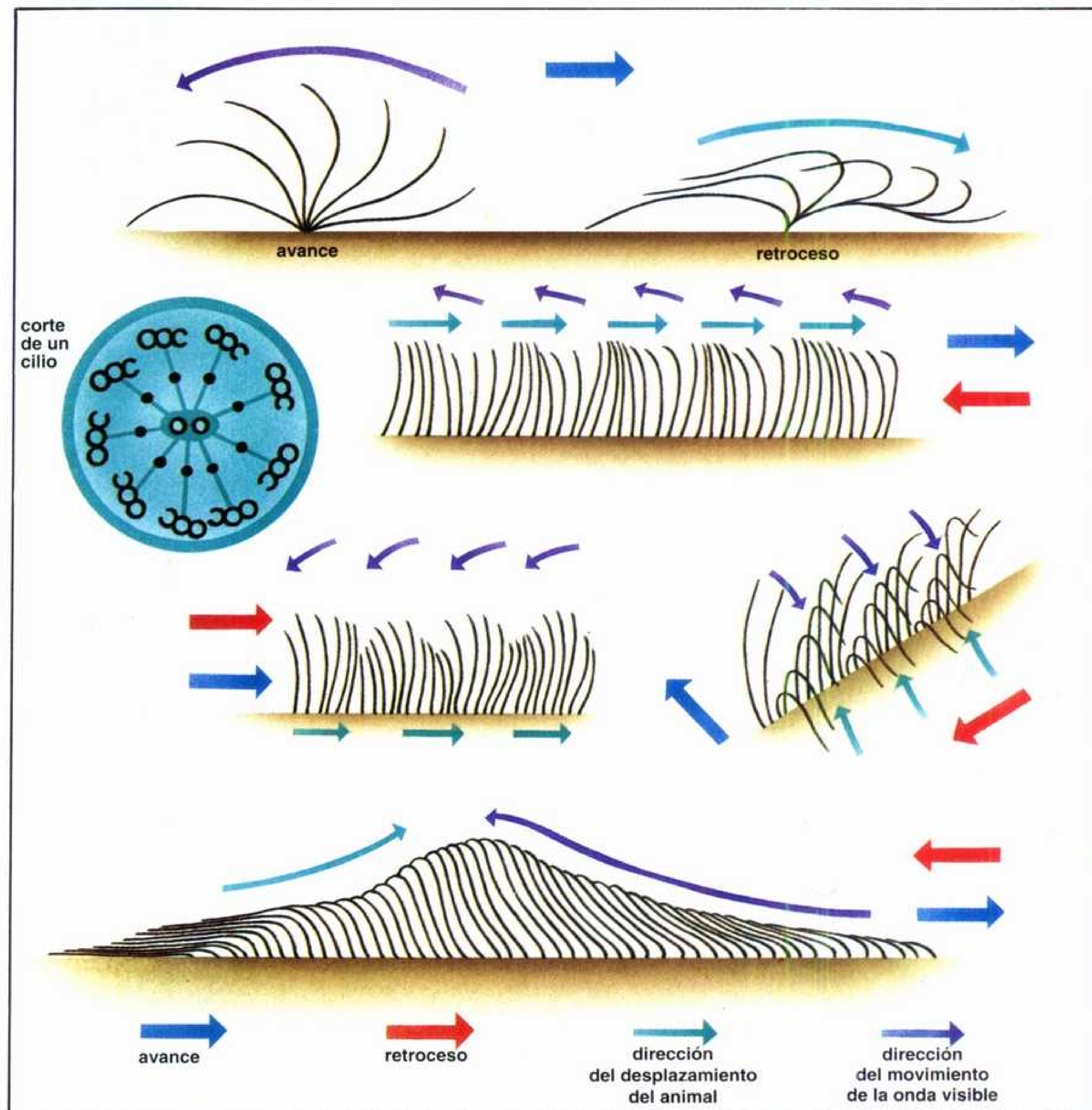
La forma aplanada de los platelmintos, por su parte, es particular: resulta probablemente de una adaptación destinada a facilitar la difusión del oxígeno en sus tejidos, y especialmente la alimentación de los músculos locomotores de ese gas indispensable para las combustiones orgánicas.

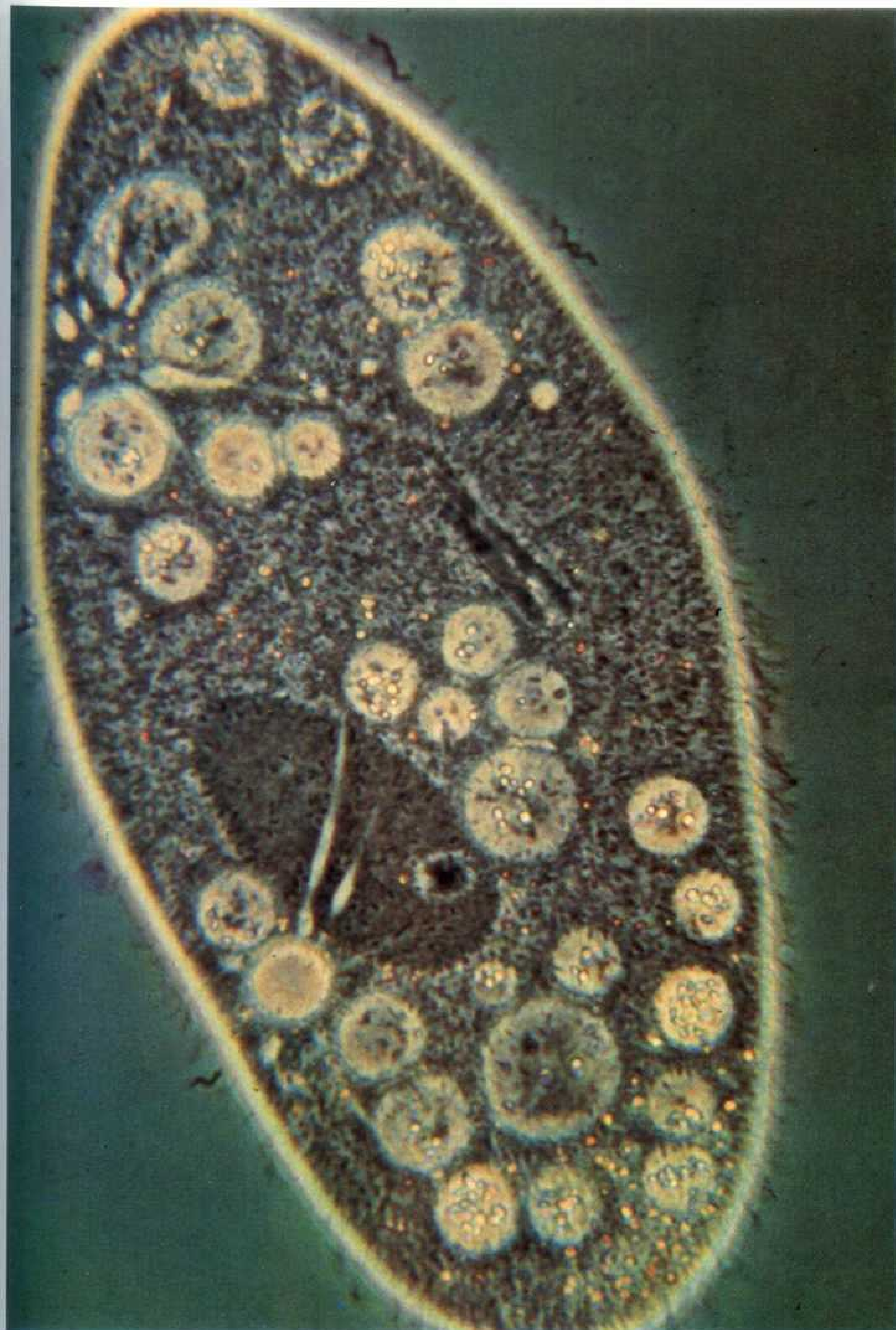
Los nemertinos son otros gusanos primitivos que ciertos zoólogos emparentan con los platelmintos, a los que efectivamente se parecen en muchos aspectos, pero que poseen también ciertas particularidades propias. Tienen un cuerpo cilíndrico, pero éste puede deformarse enormemente por acción de fibras rígidas, dispuestas en hélice; el sistema muscular longitudinal y transversal está también bien desarrollado, y hace posible moverse eficazmente. Los nemertinos son un poco los contorsionistas del mar: su cuerpo puede alargarse nueve o diez veces más de lo normal sin cambiar de volumen: esta reducción de diámetro les permite pasar por todas partes. En reposo, este mismo cuerpo se comprime y tiende a aplastarse: es entonces cuando estos animales se parecen más a los platelmintos.

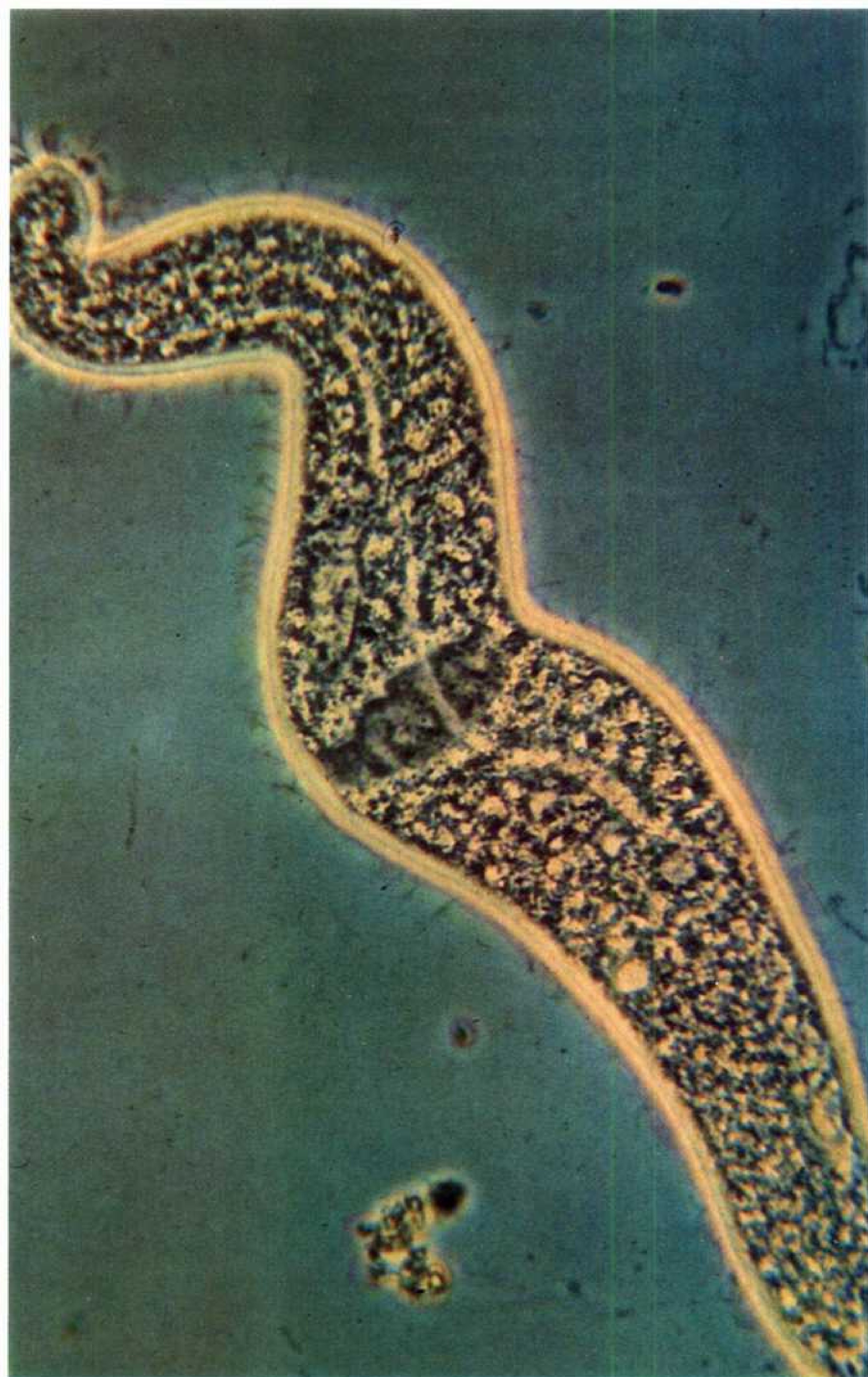
G. Chapman, que ha estudiado profundamente los movimientos de los invertebrados, demuestra que los desplazamientos de los platelmintos y de los nemertinos son totalmente semejantes a los de los moluscos gasterópodos, que se sirven de su pie para avanzar sobre el substrato. El avance se obtiene por una sucesión de ondas de contracción que van hacia adelante, mientras que el mucus segregado por el pie le proporciona adherencia a ésta, limitando, no obstante, las fuerzas de fricción.

Chapman escribe: «El mecanismo del movimiento ha sido mucho mejor estudiado en los gasterópodos que en los turbelarios, porque los gasterópodos son más grandes, y en ellos el movimiento de reptación no se complica con la intervención de cilios vibrátiles. Este movimiento consiste, para el animal, en levantar una parte de su pie, alargarlo hacia adelante, apoyar la fracción despegada y servirse de este nuevo punto de apoyo para arrastrar el resto del cuerpo; una serie de estiramientos y de contracciones de este tipo crea una especie de onda regular que permite el desplazamiento.»

Los platelmintos, los nemertinos y los moluscos gasterópodos se mueven así sin palancas, sin miembros. Pero no son los únicos que proceden de este modo. Los imitan también los anélidos poliquetos y los hirudíneos. Entre los primeros, los







Los ciliados. *Los protozoos ciliados, de apenas unas fracciones de milímetro de largo, no por eso dejan de ser animales ya muy organizados. Constituidos por una sola célula, tienen numerosos organitos internos (vacuolas digestivas, etc.), como se ve muy bien en las fotografías de esta página (arriba, a la izquierda: un paramecio; arriba, a la derecha: un holotrico; aquí al lado: una especie del género* Foettingeria). *Estos animales se desplazan creando trenes de ondas sucesivos con ayuda de sus cilios vibrátiles. El esquema de la página anterior indica de qué forma se mueven.*



llamados errantes abundan en el mar: nereis, etc. Los hirudíneos designan a la clase de gusanos anélidos llamados también sanguijuelas: animales propios de las aguas dulces. Entre estos gusanos con anillos, el «esqueleto hidrostático», esto es, el agua contenida en los tejidos, juega un gran papel durante el desplazamiento: el juego de los músculos no podría ejercerse sin él. Sirve de punto de apoyo, pero igualmente también de agente de transmisión de los antagonismos musculares. Los anélidos, que están organizados en una serie de metámeros todos semejantes, poseen fibras musculares longitudinales y circulares otras. Estas fibras están dispuestas de tal suerte que unas tienen una acción antagónica de las otras. Esta estructura eficaz permite movimientos precisos: pero no puede existir si no está controlada por un sistema nervioso ya complejo. Los anélidos son los primeros animales que poseen una cadena ganglionar ventral digna del nombre de sistema nervioso.

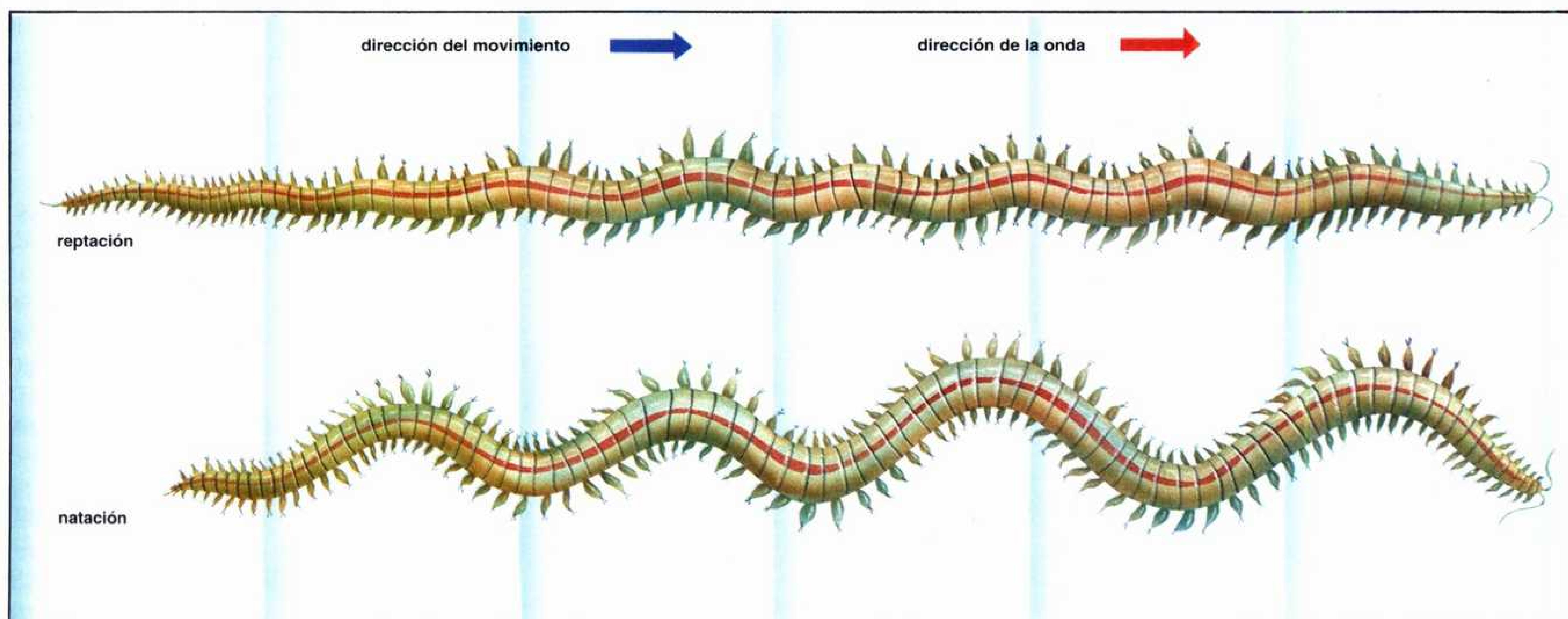
El antagonismo muscular

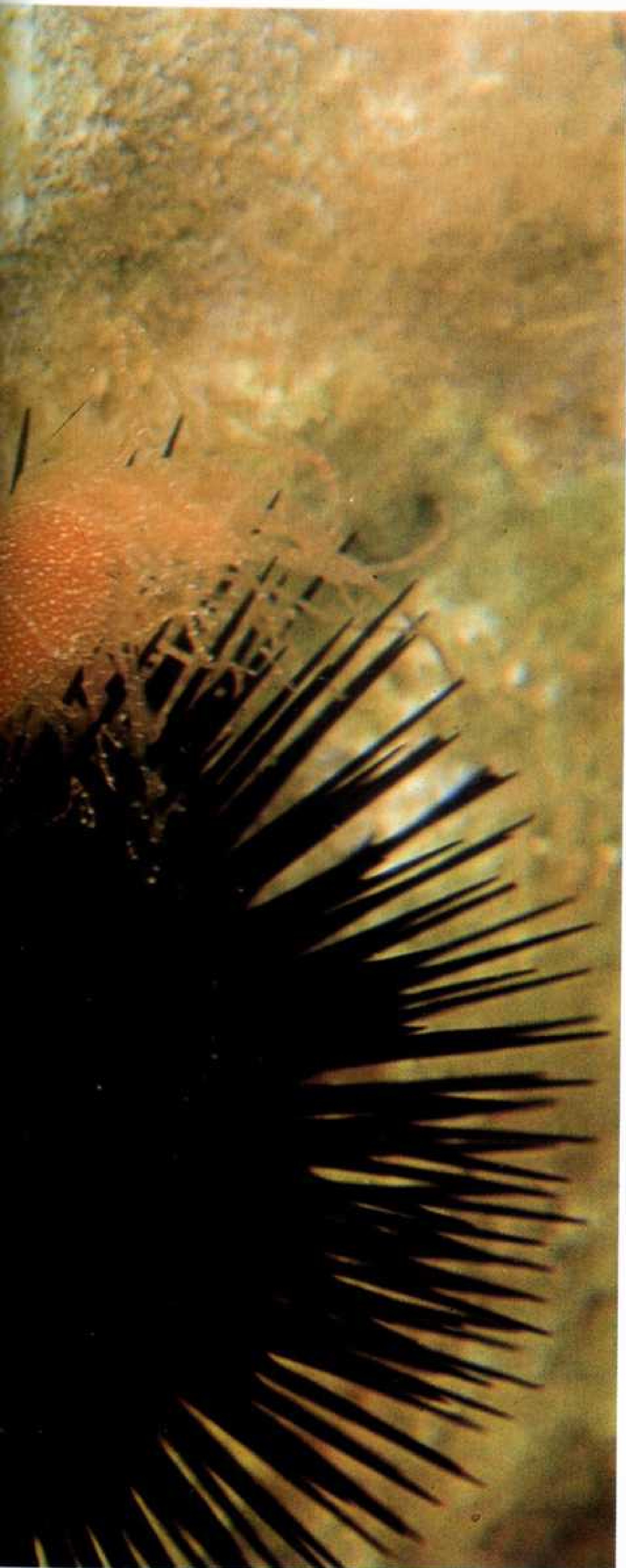
Los anélidos, que poseen un sistema de músculos antagónicos (son los primeros animales en este caso, en el orden de la evolución), tienen también una cavidad celómica y una estructura corporal metamerizada que les confiere una gran eficacia de movimientos. Esta última depende de la actividad de su sistema nervioso.

La combinación de los músculos longitudinales y circulares hace posible cuatro principales tipos de movimientos. El más simple es el movimiento peristáltico: el animal se estira y se contrae parcialmente, de modo que avanza apoyándose en las partes contraídas de su cuerpo. Se observa este modo de actuar en los anélidos oligoquetos, especialmente en los más conocidos de todos, las lombrices de tierra. En los anélidos poliquetos, esencialmente marinos, este movimiento peristáltico se ve entorpecido por el gran número de cerdas que guarnecen cada anillo. El movimiento se ve mejorado por una serie de deformaciones laterales del cuerpo: se trata, así, de una auténtica reptación. Los poliquetos la utilizan sea en el fondo del agua, apoyándose en el substrato para avanzar, o incluso en plena agua: es el líquido entonces el que sirve de punto de apoyo. Este movimiento, no obstante, por económico que sea, no resulta muy eficaz, especialmente si se trata de avanzar rápidamente (para huir de un peligro, etc.). Los anélidos poliquetos errantes mejor dotados, desde este punto de vista, son los nereis y sus parientes. Capaces de ondular ampliamente, su natación es más eficaz.

Desde el punto de vista de la física, el movimiento ondulatorio es a la vez el más difundido y el más eficaz. No sorprende, así, que los animales lo hayan adoptado en el curso de la evolución.

La cuarta forma de avanzar que los anélidos han experimentado es también







importante, pues ha sido recobrada y perfeccionada por los que fueron probablemente los desdencientes del grupo: los artrópodos (trilobites, merostomáceos, crustáceos, picnogónidos, miriápodos, arácnidos, insectos). Ciertos anélidos, sobre todo entre los poliquetos, disponen de cerdas locomotoras muy móviles, y controladas por músculos sólidos, éstos a su vez conectados a haces nerviosos de coordinación. Las cerdas locomotoras, situadas al cabo de algo así como seudópodos, efectúan un movimiento de marcha cuando el animal se encuentra sobre un soporte.

Este modo de avanzar, oleada de parápodos tras oleada de parápodos, es el que emplean aún las larvas de los insectos (moscardas, por ejemplo), así como los miriápodos (ciempiés). Los crustáceos marchadores y los insectos han mejorado el método adquiriendo verdaderas patas locomotoras.

El movimiento ondulatorio. *La progresión de los anélidos poliquetos se obtiene merced a contracciones coordinadas de series de músculos. El dibujo de la página anterior resume los movimientos de reptación y de natación de* Nereis. *Aquí, a la izquierda: el anélido poliqueto* Eupolymia nebulosa *sobre un erizo de mar. Arriba:* Arenicola marina. *Al lado, a la derecha:* Eunice harassii *sobre una esponja roja. En el dibujo de abajo se representa la locomoción de un parartrópodo del género* Peripatus.

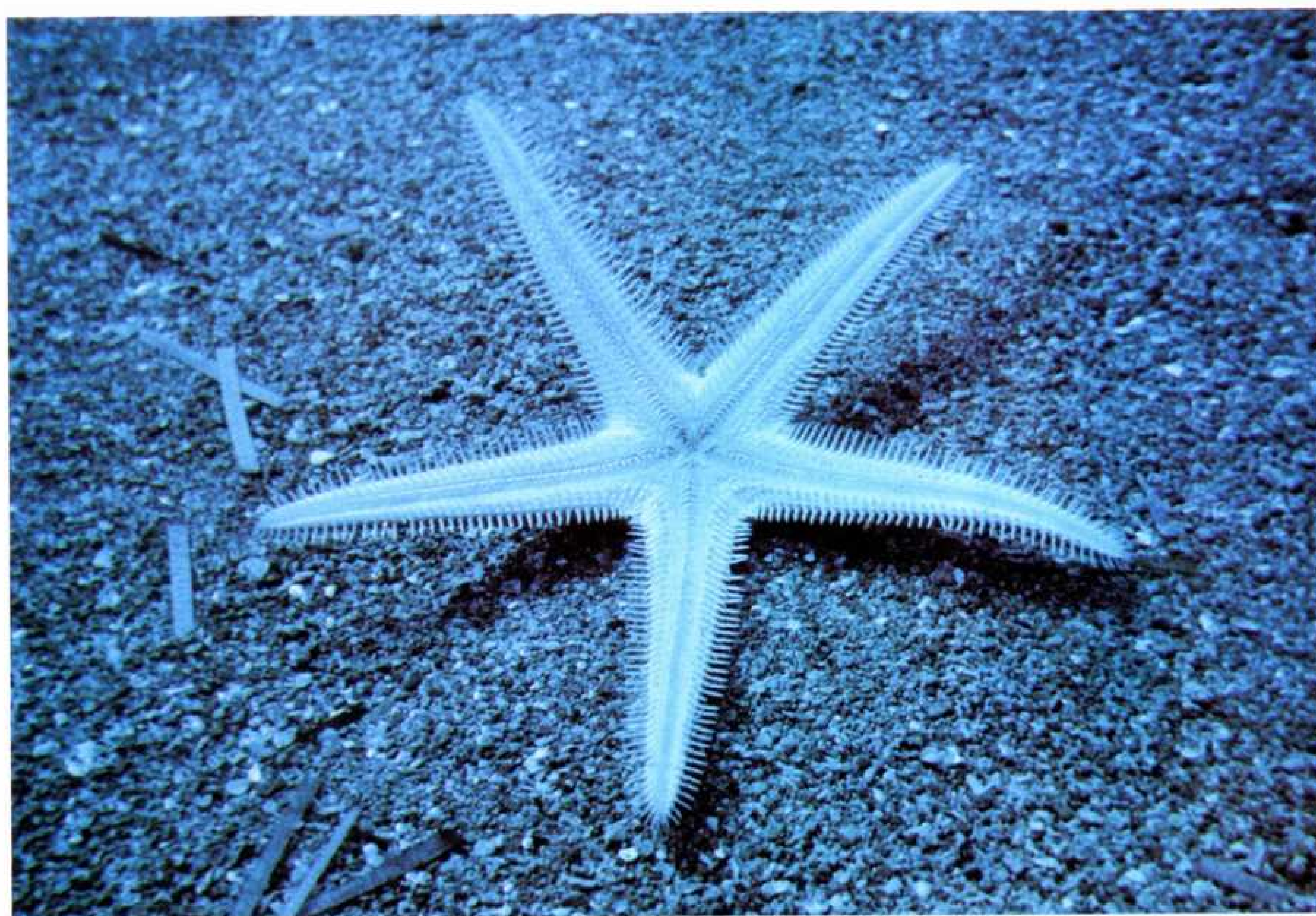






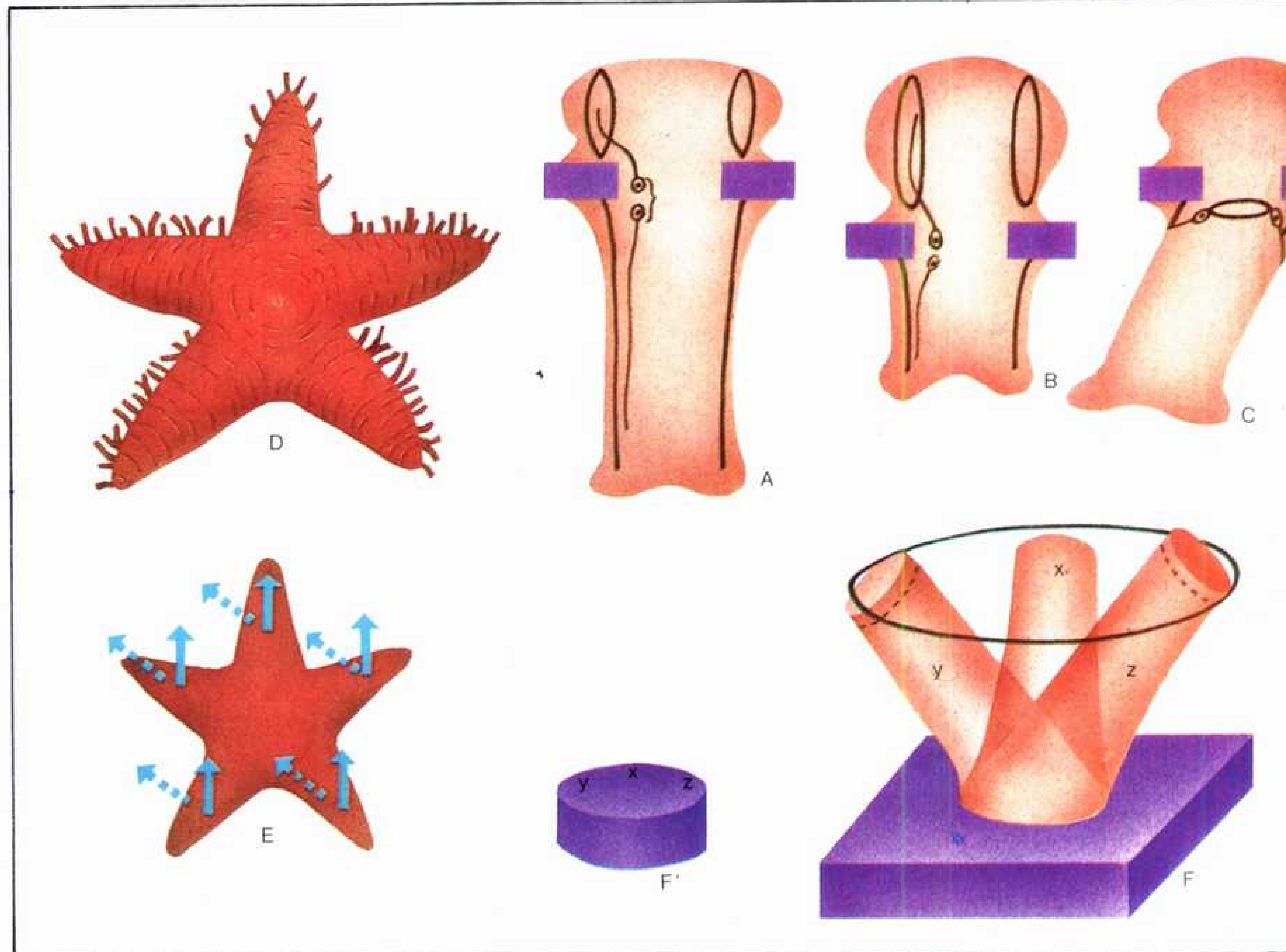
La utilización de palancas

Los apéndices articulados de los artrópodos marinos (desde los trilobites, hoy desaparecidos, hasta los crustáceos, pasando por los picnogónidos y los merostomáceos) han permitido a estos animales perfeccionar el movimiento bajo todas sus formas, en la medida en que funcionan como palancas. La fuerza que permiten desarrollar, con un consumo menor de energía, es considerable. Estas palancas no sólo sirven para la marcha: se emplean también para nadar, y asimismo para capturar las presas (pinzas) o para defenderse contra los depredadores.
Los crustáceos de pequeño tamaño del grupo de los entomostráceos y el de los filópodos tienen un caparazón quitinoso poco grueso, y relativamente suave todavía. Sus apéndices, controlados por músculos reducidos, funcionan también con suavidad. No ocurre lo mismo con los crustáceos superiores, en los que la quitina es más gruesa y forma una armadura rígida (cuando no existe, como en los decápodos, está reforzada por inclusiones minerales de carbonato de calcio): en tales animales, los apéndices no pueden moverse sino cuando presentan, en ciertos lugares, puntos de menor espesor de la quitina.
Tanto marchando como nadando, los artrópodos marinos tienen buenas posibilidades de movimiento. Una gamba *(Leander)*, un cangrejo *(Carcinus)*, un isópodo *(Ligia)*, etc., pueden desplazarse fácilmente a distancias bastante grandes, especialmente en busca de presas. Sin embargo, este campo de acción es mucho más reducido que el de los artrópodos terrestres, bien se trate de miriápodos (cardador, ciempiés), de arácnidos (arañas, escorpiones) o, sobre todo, de los insectos.
Estos últimos han desarrollado notables adaptaciones al movimiento, especialmente adquiriendo patas saltadoras (saltamontes, langostas) y naturalmente inventando las alas (libélulas, moscas, mariposas...).
Los movimientos de los apéndices, en los artrópodos, deben estar perfectamente sincronizados, y esto requiere de un sistema nervioso bien integrado. De forma general, a cada serie de músculos le corresponde una serie de músculos antagónicos.
El sistema nervioso de los artrópodos está mucho más elaborado que el de los anélidos, del que probablemente derivan. En los crustáceos, como en todos sus parientes articulados, se encuentra en la cabeza un verdadero cerebro (dividido en tres partes: protocerebro, deutocerebro y tritocerebro), que se prolonga en una cadena nerviosa ventral completa, comportando en general un ganglio por metámero.
Los artrópodos no son los únicos animales que disponen de un esqueleto externo: también los equinodermos tienen, en su mayoría, el cuerpo cubierto de un







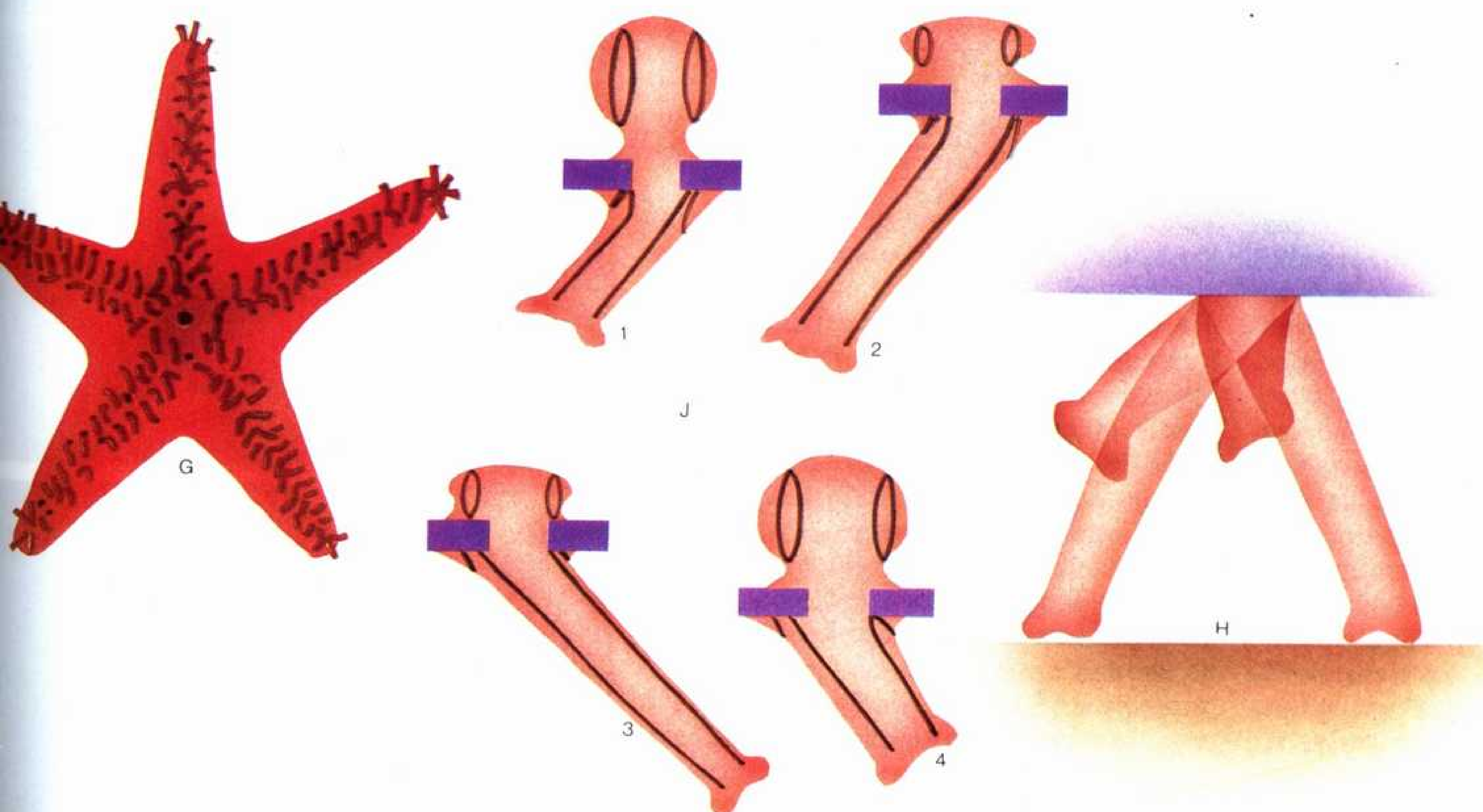


grueso caparazón mineralizado (algunos siguen siendo bastante flexibles, como las holoturias, los lirios de mar y los ofiuros; las estrellas de mar lo son ya menos, y los erizos de mar casi nada).
Los equinodermos disponen (cuando no están fijos, como los lirios de mar) de un aparato locomotor eficaz, compuesto de decenas de pequeños apéndices flexibles conocidos como pies ambulacrales. Estos últimos, llamados también *podia,* están siempre en actividad; terminan en una pequeña ventosa, gracias a la cual pueden adherirse al soporte y hace posible a su vez los movimientos del animal. Sirven igualmente para la respiración, al jugar el papel de branquias, y el equinodermo los emplea ocasionalmente para capturar a sus presas.
Los pies ambulacrales se ponen en acción gracias a un sistema acuífero extraordinariamente bien concebido: cada pie puede contraerse o alargarse gracias a la ampolla ambulacral a la que está unido. Esta última se llena o se vacía con un líquido (líquido ambulacral) que extrae o empuja en un anillo acuífero.
Este, a su vez, rodea el cuerpo del animal, y está en comunicación con el medio ambiente marino por medio de poros acuíferos. El llenado o vaciado de las ampollas (o vesículas) ambulacrales, que provoca la turgencia o el vacío de los *podia,* depende de un sistema nervioso bien integrado también complejo.
Sin embargo, esta forma de locomoción no permite alcanzar grandes velocidades, evidentemente: las holutarias, los ofiuros, los erizos de mar o las estrellas de mar, por ejemplo, sólo lentamente se desplazan por el fondo de las extensiones marinas.
En contrapartida, al emplear ventosas, estos animales son capaces de escalar rocas verticales.









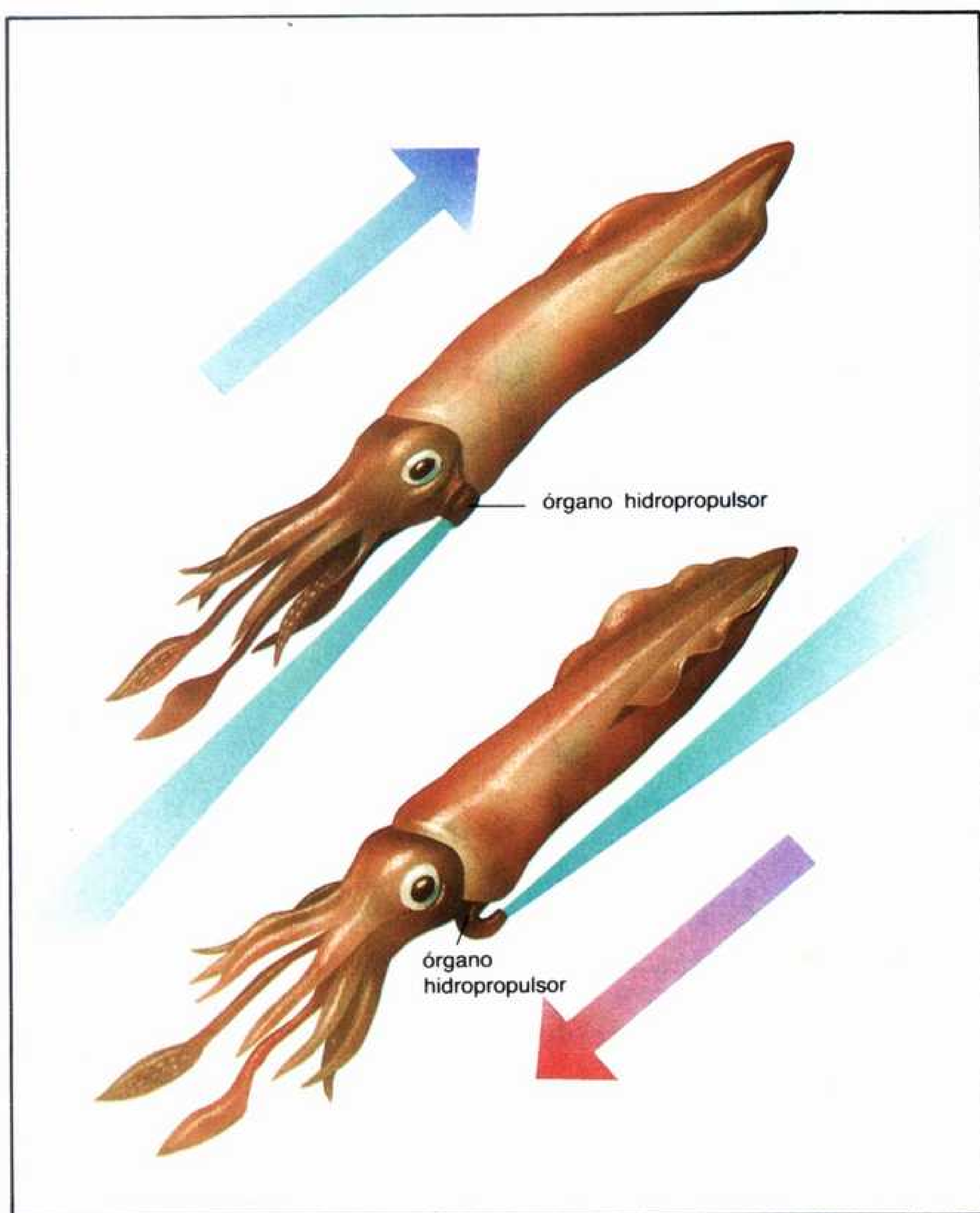
La locomoción de la estrella de mar. *Gracias a sus pies ambulacrales, que funcionan de forma hidroneumática, la estrella de mar puede desplazarse por el fondo, volver sobre el vientre cuando se la vuelca (secuencia de fotografías de arriba) y atrapar a sus presas. A: pie ambulacral alargado; B: el mismo contraído; C: el mismo dirigido hacia la izquierda; D: la estrella de mar vista dorsalmente. E, F (x, y, z) y F': el juego de los músculos de los pies, y las resultantes de las fuerzas aplicadas. G: la estrella de mar vista por su cara ventral. H, J (1, 2, 3, 4): las múltiples combinaciones posibles de movimiento.*


Animales a reacción

En los moluscos, el órgano del movimiento es el pie; pero éste ha experimentado múltiples variaciones morfológicas en el transcurso de la evolución. En los moluscos lamelibranquios apenas se utiliza, pues estos animales viven fijos sobre el substrato o posados en el fondo; los mejillones son capaces de cambiar de lugar en su roca, desprendiendo uno a uno los filamentos del biso que los tiene atados, y fijándolos algo más lejos; pero es éste, evidentemente, un proceso muy lento. En los moluscos gasterópodos, el pie es funcional: transformado en suela aplastada, ondula en el plano vertical, y determina el movimiento de su propietario. Así se desplazan los caracoles (de mar y de tierra). Los nudibranquios nadan en plena agua de la misma forma: gracias a trenes de ondas; pero éstos afectan a la totalidad de su cuerpo.

Para escapar del enemigo, ciertos moluscos lamelibranquios han «inventado» una forma de propulsión muy original. La emplean sobre todo las vieiras, o conchas de peregrino. Se trata de la reacción. La vieira que advierte la presencia de una estrella de mar (su principal depredador) abre bruscamente las dos valvas de su alojamiento, llena de agua su cavidad paleal y cierra, también bruscamente, las dos mitades de su casa. El agua, expulsada con violencia, ejerce una presión del lado opuesto a la abertura por la que escapa. Esta fuerza de reacción impulsa a la concha a 40 ó 60 centímetros hacia atrás. Los moluscos cefalópodos (calamares, sepias, pulpos) tienen un pie muy modificado, transformado en tentáculos. Estos últimos, provistos de ventosas, permiten a las especies bentónicas marchar por el fondo. Pero tampoco es rápida esta forma de desplazarse. Las especies pelágicas, especialmente los calamares y las sepias, han adquirido, en el curso de la evolución, aletas en forma de largos triángulos adosados a cada lado de la parte posterior del cuerpo. Estos órganos del movimiento sirven sobre todo de estabilizadores. Pero apenas permiten acelerar el avance.

En caso de urgencia, los cefalópodos recurren a otro sistema completamente distinto de propulsión: la reacción, que ellos han reinventado de alguna manera, después de las conchas de peregrino. Llenan de agua su cavidad paleal, y expulsan el líquido por su estrecho sifón respiratorio. La violencia del chorro les permite desplazarse con gran rapidez. Como su sifón puede orientarse en todas direcciones, esta forma de propulsión es tan flexible como eficaz. Los cefalópodos cuentan con un sistema nervioso evolucionado: tienen el cerebro más complejo que se puede encontrar en los invertebrados.





Los movimientos de los moluscos. *El calamar puede expulsar violentamente el agua contenida en su cavidad paleal a través de la abertura en embudo de ésta; dispone, así, de un órgano hidropropulsor que le permite nadar rápidamente según el principio de reacción (aquí a la izquierda). Como puede orientar a voluntad su embudo, le es posible escapar del peligro en cualquier dirección. La sepia (en las tres fotografías de la columna vertical) cuenta con los mismos sistemas de propulsión que el calamar y los demás cefalópodos. Los nudibranquios, que son gasterópodos sin concha, nadan contrayendo espasmódicamente su pie (aquí, a la derecha, y recuadro de la página siguiente).*



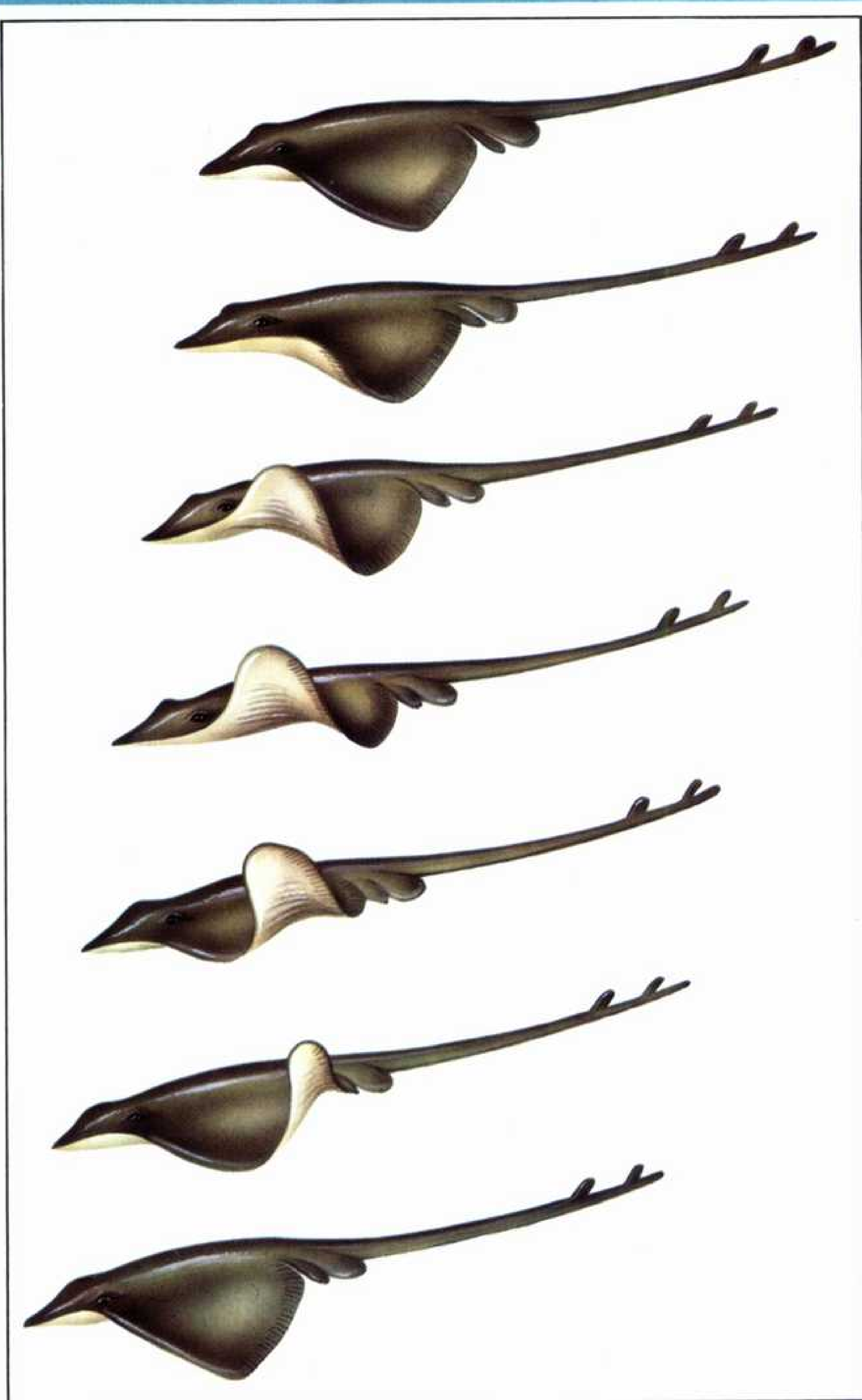


Esto les sirve igualmente en sus movimientos. Se ha calculado que el tiempo de contracción de los músculos de los animales de esta clase es del orden de 0,068 segundos: una cifra comparable a la de los músculos de los mamíferos. En las conchas de peregrino, que están lejos de disponer de los órganos de los sentidos de los cefalópodos (y que reaccionan, pues, con mucha menor rapidez a los estímulos), los músculos aductores están compuestos por dos tipos de fibras: las fibras estriadas responden muy rápidamente (su tiempo de contracción es de 0,046 segundos), pero las fibras lisas son mucho más lentas: 2,28 segundos.

La propulsión a reacción representa una especie de perfección en su género. Pero requiere desplegar mucha energía. Cuando se persigue a un calamar o a un pulpo en plena agua, se advierte que se fatiga rápidamente. Los primeros saltos son enérgicos. Pero cuanto más se incita al animal a que los repita, menos eficaces son. Al cabo de un corto tiempo, el molusco está agotado.

Cuando aparecieron los vertebrados en los mares, aprovecharon su esqueleto interno para reinventar el movimiento ondulatorio, cosa que los peces llevaron, por así decir, a su máxima perfección. La evolución les permitió bien pronto encontrar las mejores formas susceptibles de mejorar sus rendimientos. Los tiburones se encuentran entre los primeros en adquirir esta fluidez en la natación que todavía hoy suscita nuestra admiración. Atunes, peces vela, marlines, espadartes, representan, ellos también, una especie de cima en esta evolución: el atún, que supera a menudo la media tonelada de peso, posee más de 350 kilogramos de músculos... En el lado opuesto a estas soberbias máquinas hechas para hendir el agua, existen centenares de especies de peces que apenas nadan, o que lo hacen mal; y que han preferido buscar en otros dominios que en el de la velocidad la garantía de preservar su vida y encontrar su alimento. Así, los hipocampos (o caballitos de mar), los peces trompeta, las molas (o peces luna), los peces cofre, los rascacios, etc., hechizan las aguas con sus estrambóticas formas.

La natación de los vertebrados

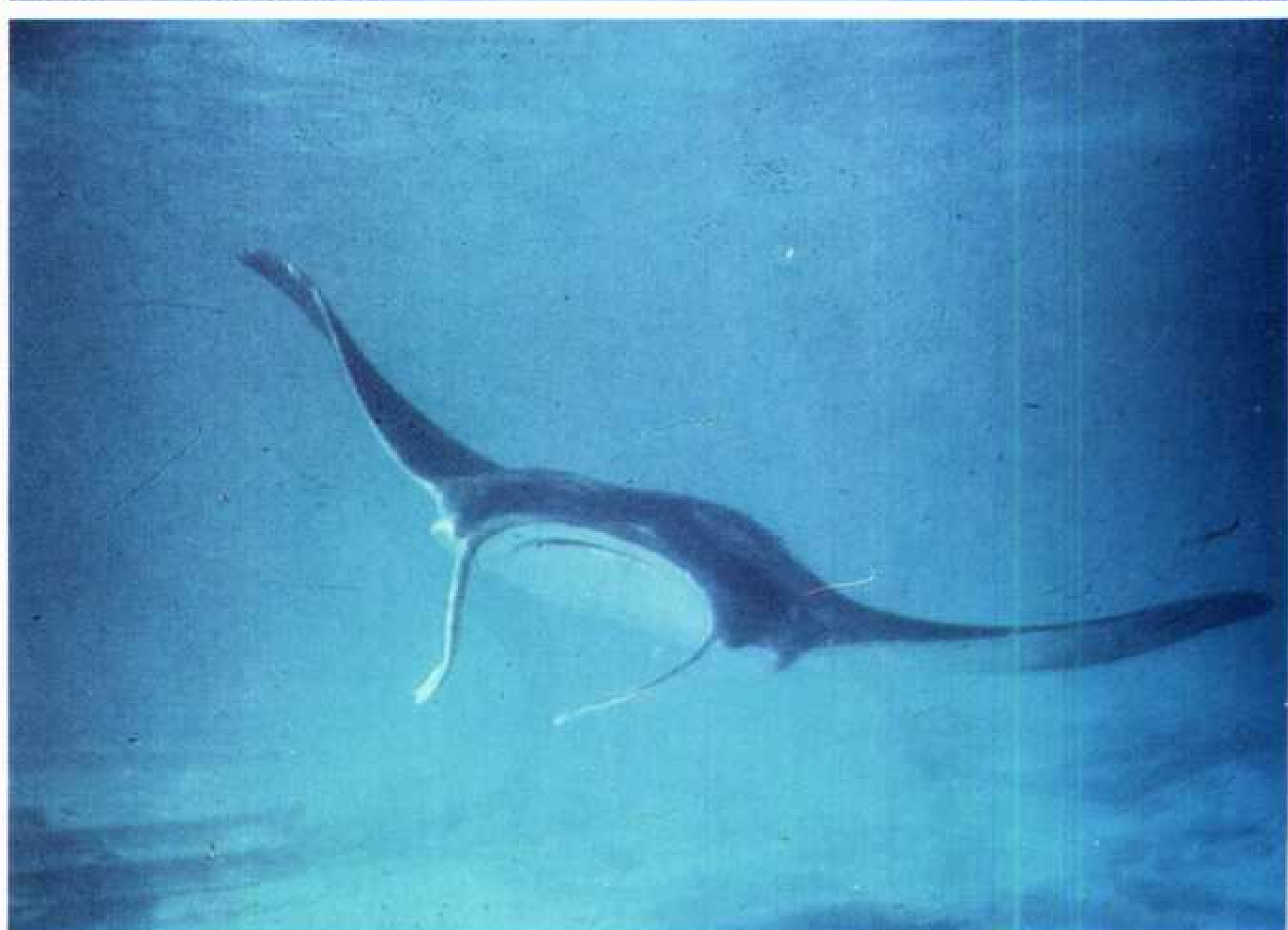


La natación de las rayas. Las rayas nadan exactamente como vuelan los pájaros. El dibujo de al lado, a la izquierda, muestra claramente la forma en que se descompone cada batir de aletas, y cómo se transmite la onda de adelante hacia atrás. La mayoría de las rayas son animales bentónicos: viven a poca distancia del fondo, y con mucha frecuencia se entierran en el substrato para ocultarse mejor a los ojos de sus enemigos o de sus presas. Así hacen las especies pequeñas, como la representada al lado, a la derecha, y que el fotógrafo ha sorprendido en pleno rapto amoroso, que ha reunido a varios animales encelados. Las grandes rayas, como la de la página siguiente, arriba, o como las mantas (en la foto de encima y de la página siguiente, las dos fotografías de la derecha), son pelágicas y nadan, lógicamente, muy bien.

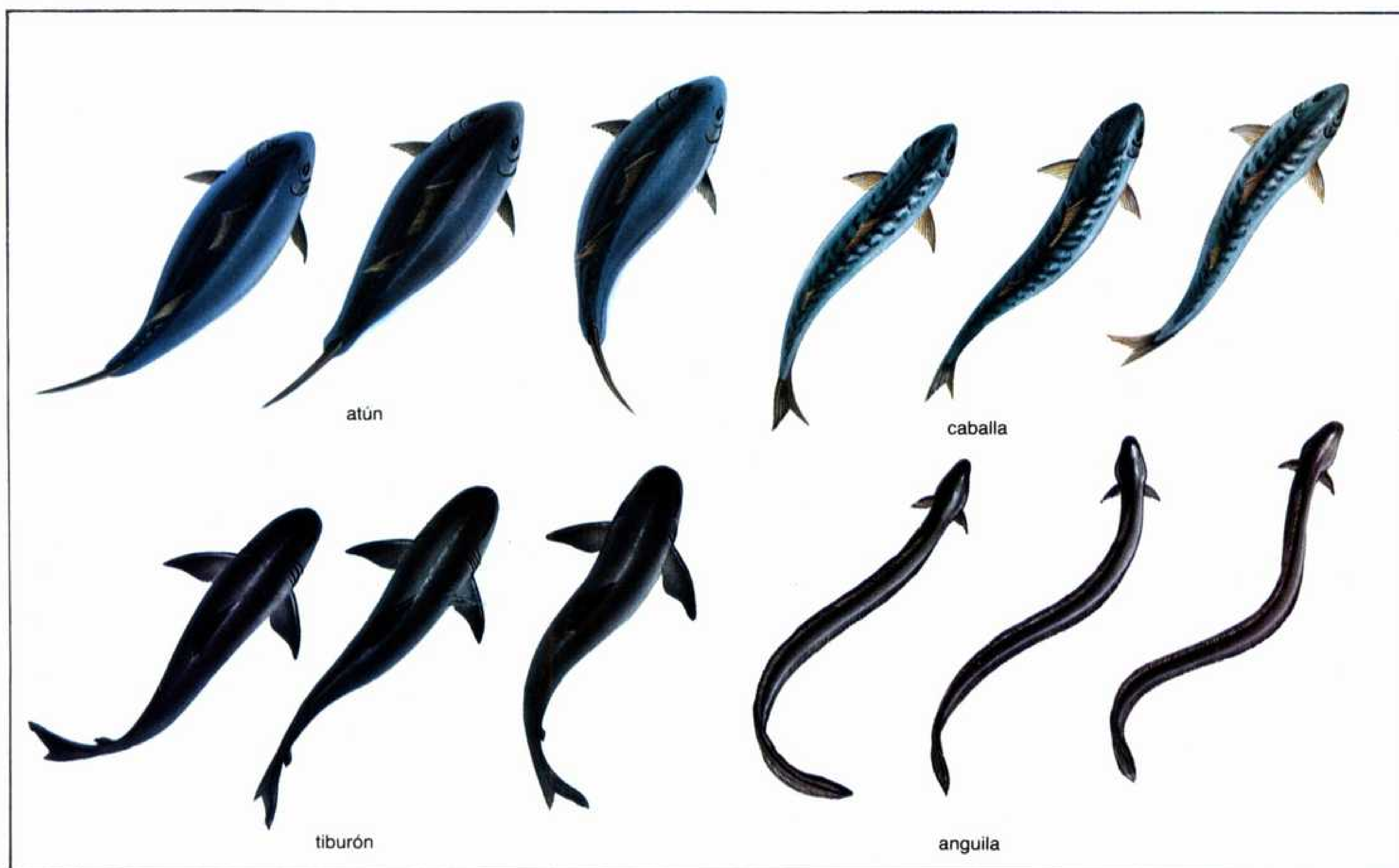
Los peces cartilaginosos, sobre todo los tiburones, incluyen especies admirablemente adaptadas a la natación. Algunas incluso están condenadas a nadar sin cesar, para abastecer a sus branquias de agua nueva oxigenada: sus órganos respiratorios son incapaces de filtrar el gas vital suficiente para alimentar sus tejidos si descansan. Entre las especies obligadas de esta manera a errar perpetuamente se cuentan los tiburones blancos, las tintoreras, los peces martillo, etc. Otros escualos, sin embargo, que hasta ahora se creía igualmente condenados a nadar sin descanso, como los tiburones nodriza, se detienen a veces y duermen en cavernas (como el equipo del *Calypso* ha demostrado en aguas de Yucatán). Entre los peces cartilaginosos se encuentran en realidad todo tipo de animales, dotados muy diferentemente para la natación. La mayoría de los tiburones nadan bien, ondulando lateralmente el cuerpo, pero algunos son sedentarios y viven perezosamente sobre el fondo (tiburón alfombra, tiburón de la arena). Entre las rayas, las únicas especies excelentes nadadoras son las mantas y las únicas también que tienen costumbres de vida pelágica. Las otras son bentónicas; nadan mal, a pesar de las auténticas «alas» de que las dotó la evolución. Se mantienen en las inmediaciones del fondo, a veces incluso totalmente escondidas en el substrato, de donde no despegan sino para





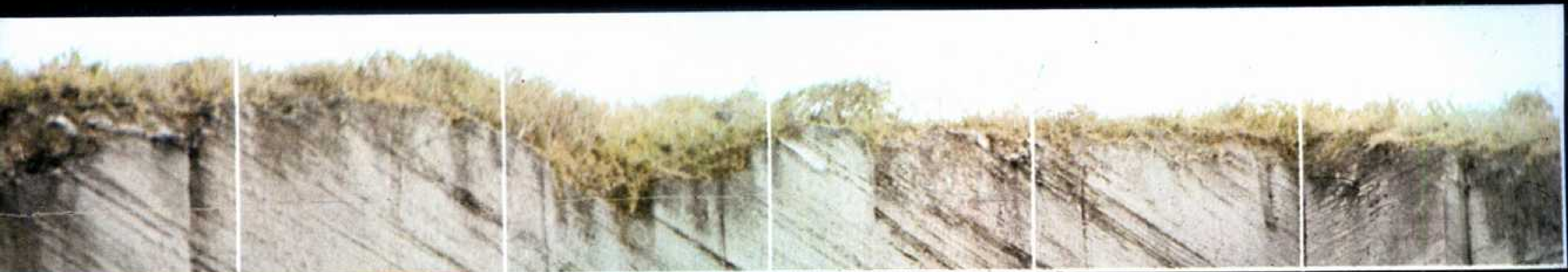


breves vuelos de planeo, antes de descansar a poca distancia de su emplazamiento original.
Los peces óseos están representados por el superorden de los teleósteos. En las filas de estos últimos, la naturaleza parece haberlo inventado todo, desde la natación potente y fluida del atún, del salmón o del marlín, hasta la «marcha-reptación» del perioftalmo sobre las ramas de los mangles.
Los más eficaces nadadores, como los atunes, alcanzan fácilmente los 90 kilómetros por hora, y algunas especies superan quizá los 100 kilómetros por hora en distancias cortas. La musculatura excepcional de estos animales, su perfecto perfil hidrodinámico, el funcionamiento de su parte posterior (cola comprimida) que bate el agua a la manera de una hélice: todo contribuye a hacer de ellos unos verdaderos campeones de la velocidad. Pero estos peces son igualmente muy resistentes: migran durante cientos y cientos de millas, con un avance muy sostenido. Su resistencia se debe en parte a que no son, como los demás peces, animales de temperatura variable (de «sangre fría»). Su temperatura interna está siempre más elevada en algunos grados que la del agua ambiente, y esta tasa excepcional del metabolismo les permite sostener las distancias. Entre los grandes corredores del océano se distinguen los marlines (género *Makaira),* al igual que los peces vela, los peces espada y los *wahoos* del Pacífico (género *Acanthocybium),* cronometrados con acierto a más de 65 kilómetros por hora.
Los peces de mediano tamaño viajan a menudo en cerrados bancos, y emigran ellos también a grandes distancias. Así hacen los bacalaos, los arenques, las anchovetas, las caballas, las lisas, etc. Estos animales no sólo nadan bien, sino que, en el seno de su banco en movimiento, se comportan como las células de un mismo organismo: suben, bajan, cambian de dirección, se detienen y vuelven a emprender la marcha como un conjunto perfecto, como si obedecieran a las señales de algún misterioso «jefe de fila». En realidad, cuentan sobre todo con las sensaciones de su línea lateral (su sentido de la presión, o sentido de tacto a distancia) para evolucionar. La velocidad de migración de los grandes bancos de sardinas o de arenques es mucho menor que la de los atunes o espadartes: apenas supera los dos o tres kilómetros por hora. Lo cual no quiere decir que estos animales, individualmente, no puedan dar muestras de una mayor celeridad. Pero es tal su instinto gregario que, en su banco, apenas huyen cuando un depredador los ataca. Todos permanecen unidos, y sus posibilidades de supervivencia son entonces meramente estadísticas.
En los teleósteos, las modalidades de locomoción son muy variables, como hemos dicho. ¡Y tanto! El desplazamiento serpentiforme de la anguila o del congrio (auténtica reptación por el agua) es lo opuesto del rígido que caracteriza al pez cofre, el rascacio o el pez erizo. Platijas, lenguados, rodaballos y demás peces planos nadan por encima del fondo ondulando el cuerpo en el plano horizontal, mientras que los peces muy comprimidos lateralmente, como el pez mariposa, el pez cirujano o el pez ángel, ondulan en el plano vertical. El perioftalmo, por su parte, nada con relativa lentitud en el elemento líquido; pero puede salir de él, utilizando sus aletas pectorales como «patas», e incluso trepar a las raíces aéreas de los mangles —en cuyo ambiente vive— y saltar.
La forma de desplazarse del pez volador, o exoceto, merece una cierta atención. Este género de animales posee aletas pectorales sumamente alargadas, muy finas y susceptibles de desplegarse como abanicos. Estos órganos les permiten, después de tomar impulso, salir del elemento líquido y planear durante 100 ó 150 metros por encima de las olas. Los peces voladores utilizan este subterfugio para escapar de sus enemigos naturales, los corifenos, los atunes y los delfines. Sólo que no siempre les sale bien la estratagema: a veces, los exocetos caen en la boca de los depredadores que les perseguían...
A menudo se comete el error de creer que las aletas de los peces constituyen el elemento esencial de su sistema de propulsión. En realidad, estos órganos de poco sirven para la creación del movimiento en sí: éste es producido por las ondulaciones del conjunto del cuerpo, que se apoya en el agua alternativamente de un lado y del otro. Las aletas no juegan sino una función de apoyo en este campo. En contrapartida, permiten a los animales estabilizarse, cambiar rápidamente de dirección, frenar, etc. Cuando están muy modificadas, como las pectorales de los exocetos o de los perioftalmos, participan de forma muy original en el éxito evolutivo de la especie.



Algunos estilos de natación en los peces. *Los atunes, musculosos, nadan muy rápido, y son más resistentes que los tiburones, pues tienen una superior tasa de metabolismo: su temperatura interna está siempre más elevada en algunos grados que la temperatura del agua ambiente. La natación de la caballa, pez de mediano tamaño, es mucho menos eficaz, acercándose un poco a la progresión serpentiforme de la anguila. Esta, por su parte, es mucho menos rápida que las grandes especies pelágicas. Pero no hay que olvidar que, a pesar de todo, la anguila es capaz de franquear los océanos en el curso de sus migraciones.*

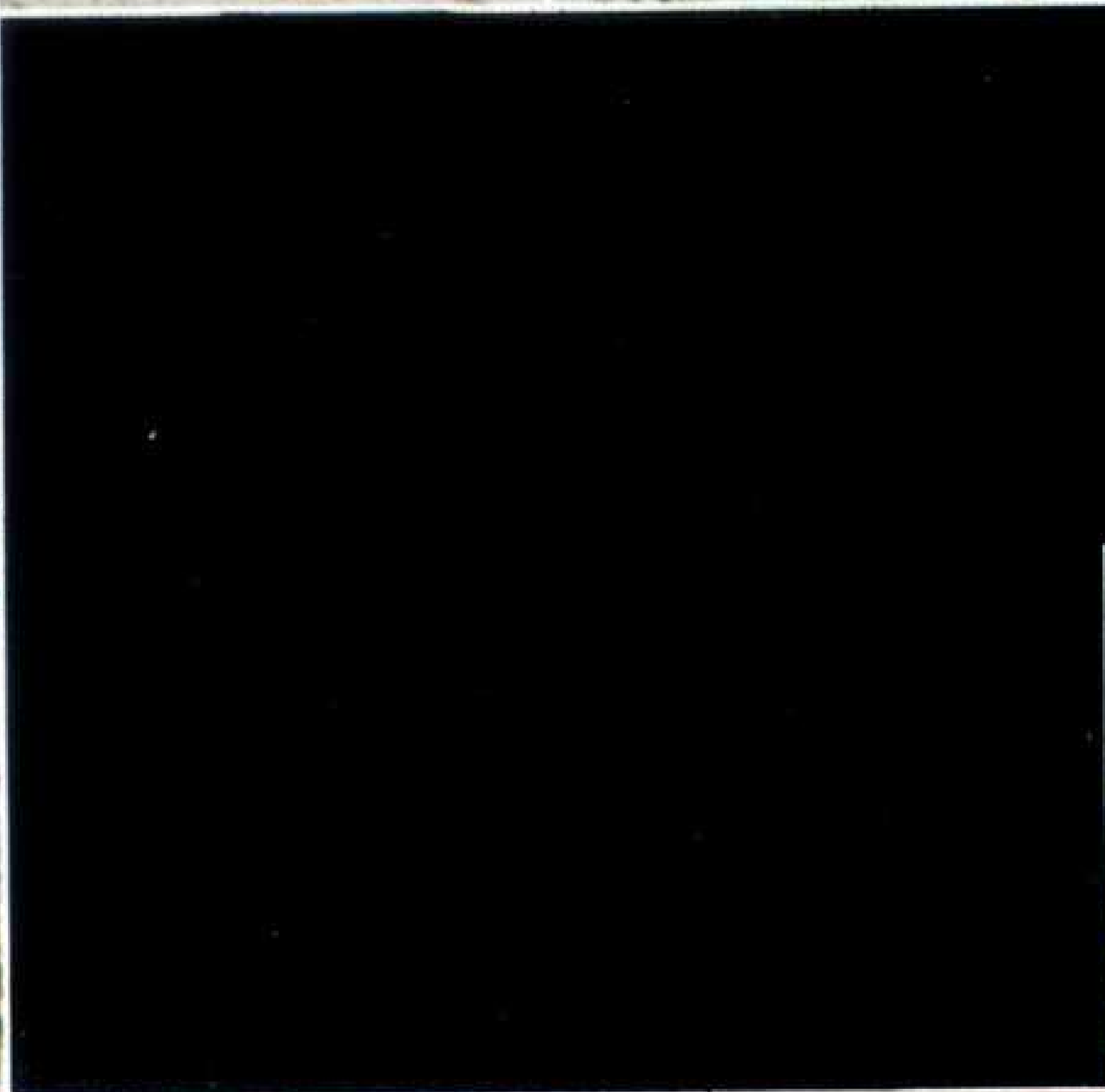
Las costas arenosas


























Dunas costeras de arena



Las dunas se forman a lo largo de las costas allí donde exista suficiente cantidad de arena y viento para transportarla. La arena arrastrada por el viento se deposita en cuanto la velocidad de éste disminuye, como ocurre a sotavento de cualquier obstáculo. De esta manera, la vegetación costera y de las lagunas captura la arena y da inicio al proceso de formación de las dunas. Son las plantas típicas de las dunas que pueden crecer en la arena a medida que ésta se acumula, consolidando su superficie y propiciando una ulterior acumulación.

La arena es transportada hasta la costa por las olas. Si una playa se extiende hacia el mar, grande será la cantidad de arena y rápidamente se alzarán las dunas; en cambio, si la playa está sometida a la erosión, la arena escaseará.

La formación de dunas que constituyen un cordón costero se inicia frecuentemente en correspondencia con los detritos que los temporales llevan a la deriva y depositan en la playa. Estos detritos constituyen un ambiente propicio para el asentamiento de las plantas a partir de semillas o de otras partes vegetales. Se trata, en general, de plantas anuales (por ejemplo, *Cakile*), a las que suceden gramíneas perennes como *Ammophila.* La arena transportada por el viento se acumula en torno a estos colonizadores primarios.

A medida que estas gramíneas que contribuyen a la formación de las dunas crecen y se difunden, una cantidad cada vez mayor de arena es retenida y los pequeños montones acaban por confluir, formando dunas más grandes.

En los intervalos entre las borrascas se puede formar una única duna frente al mar, que continúa luego aumentando a medida que la arena se acumula. A falta de una vegetación que la consolide, la arena tiende a acumularse en dunas móviles, que —en función del viento— avanzan y retroceden. Si los vientos que soplan en dirección de la playa logran controlar el movimiento de las dunas móviles, éstas al final pueden también confluir en grandes masas de arena que emigran tierra adentro, englobando todo a su paso.

Dunas móviles muy extensas se forman en las regiones áridas, mientras en las costas húmedas, en las que la vegetación típica de las dunas ha sido destruida por el fuego o por los animales que pacen, por la tala intensiva que el hombre efectúa para procurarse leña, por la edificación de casas, por el tráfico automovilístico o, simplemente, por pisotearla la gente, se forman otros tipos de dunas.

Cuando las gramíneas consolidan una duna y disminuye la cantidad de arena que allí se deposita, pueden crecer otras plantas, particularmente arbustos resistentes a la sal. Las dunas de formación más antigua, como también las áreas que se encuentran detrás de las grandes dunas frente al mar, pueden sustentar una mayor variedad de plantas. Precisamente sobre ellas se desarrollan los bosques de ambiente marino, mientras las lagunas de agua dulce entre las dunas contienen especies palustres y de aguazal típicas de estos ambientes. Pero, en general, estos bosques no prosperan cerca del mar, a donde llegan las salpicaduras de agua salada.

En la mayor parte de las regiones, los bosques maduros son testimonio y ejemplo de costa que retrocede.







Vegetación en la playa. *Aunque no forman parte claramente de la zona intercotidal, las dunas de arena son un importante componente del ecosistema de la costa de arena. Esta, transportada por el viento, se deposita donde su velocidad disminuye por la presencia de obstáculos, como, por ejemplo, los detritos abandonados en la playa por el mar embravecido; estos restos forman un ambiente favorable para el asentamiento de las plantas. Surgen así pequeñas matas de gramíneas (en la página anterior, arriba) que contribuyen a retener más arena. Otras plantas (en estas imágenes) pueden luego transformar gradualmente la extensión de arena en un área verde (en la página anterior, abajo). Las plantas que ahí se instalan deben tolerar bien el ambiente marino.*

Barreras de protección

DESDE hace siglos se conoce la importancia de las dunas costeras para protegerse del mar, especialmente en países, como Holanda, que se encuentran bajo el nivel de la superficie. Las dunas que forman un cordón continuo crean diques naturales, barreras flexibles frente al ímpetu y al oleaje de los temporales. Otra importante función de las dunas consiste en servir como reservas de arena para la playa cuando el mar se enfurece. En tales ocasiones, el oleaje erosiona la arena de la playa y de las dunas frente al mar, depositándola luego a lo largo de un nuevo perfil de costa, variable en función de la energía del oleaje mismo. A falta de una reserva de arena constituida por las dunas, la arena para formar este nuevo perfil de costa procedería de una ulterior erosión de la costa misma.

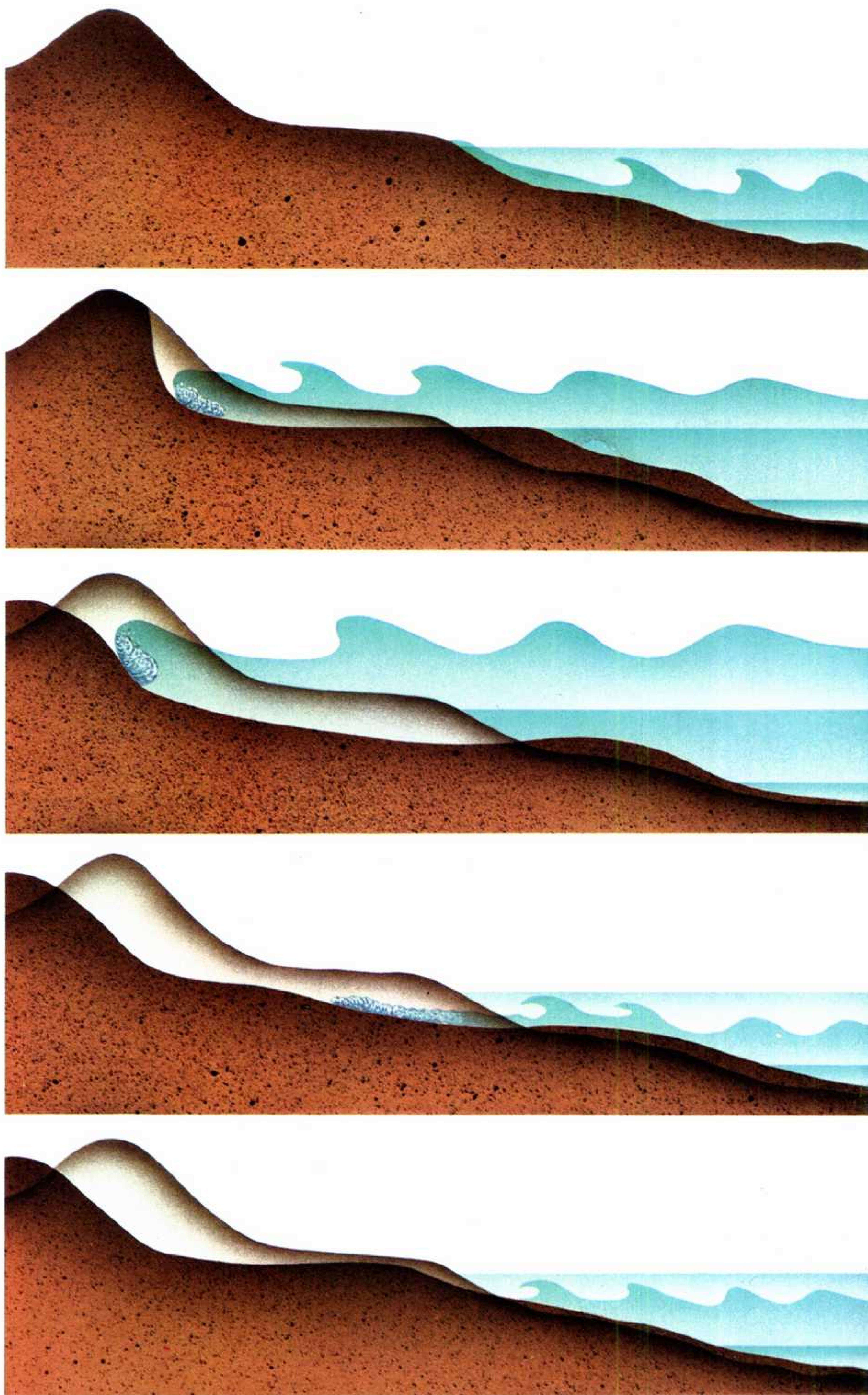
La arena removida de la playa y de las dunas durante el temporal es devuelta luego a la orilla por olas menos impetuosas en períodos de mar calmo y está así nuevamente disponible para la formación de otras dunas.

Las dunas son utilizadas también como reserva hídrica, para actividades recreativas, como hábitat de animales silvestres, para los animales que pacen y para el asentamiento de plantas. Son, no obstante, estructuras más bien frágiles, que pueden ser dañadas por una explotación excesiva. Su vegetación puede ser perjudicada por el tráfico tanto automovilístico como peatonal, y donde es destruida rápidamente sobreviene la erosión por el viento.

La acción de los animales que pacen puede no ser dañosa mientras se los controle; lo malo es que a menudo tiene lugar una sobreexplotación por parte de estos animales que provoca también grave daño a las dunas.

Las dunas, estructuras naturales con un notable poder de recuperación, son, como acabamos de decir, frágiles y fácilmente perjudicables a consecuencia de una excesiva explotación. Cuando se las utiliza para actividades recreativas, a menudo hay que dejarlas descansar para que se recuperen. Donde el acceso a la playa se hace a través de dunas frente al mar, es esencial que los senderos sean elevados. La formación de nuevas dunas de barrera o la reconstrucción de las antiguas que han sido dañadas, puede efectuarse o por medios mecánicos, mediante el empleo de *bulldozer,* de dragas y otros dispositivos, o bien reteniendo la arena transportada por el viento con vegetación rompevientos, empalizadas o ambos procedimientos.

Se prefiere semejante combinación porque se sirve de las fuerzas naturales para erigir las dunas. El método tiende tam-



La importancia de las dunas. *La acción violenta del mar borrascoso sustrae arena de la costa originando un gradual retroceso de la playa (arriba). Las dunas costeras constituyen una barrera natural de protección contra el ímpetu de las olas. Se necesita, pues, la intervención humana para fomentar la formación de las dunas. En la página siguiente se muestran algunos tipos de medidas de protección. Abajo, a la izquierda: construcción de una empalizada rompevientos que facilita que la arena se deposite; en medio: un paso elevado para evitar pisar las dunas; a la derecha: trasplante de* Ammophila, *cuyo asentamiento y crecimiento (arriba) favorecen la consolidación de la playa. Conviene saber que las dunas costeras constituyen un ecosistema muy frágil.*



bién a desalentar la formación de dunas en lugares inadecuados, como podría suceder si se recurriera a métodos de tipo mecánico.

Para erigir una duna mediante la vegetación, se levanta ante todo una empalizada rompevientos, que sirve para recoger un pequeño cúmulo de arena antes de proceder al trasplante. Que las plantas queden así más altas que el suelo impide que se inunden y que se dañen al acumularse la sal en el suelo. La joven duna es luego cultivada, trasplantando a ella alguna gramínea para que la consolide, por ejemplo, una cualquiera de las diversas especies de *Ammophila.*

Se aconseja suministrar fertilizantes nitrogenados y fosforados porque estos aportes favorecen en general el crecimiento precoz. Las dunas consolidadas y abundantes en vegetación pueden seguir aumentando, mientras sobre ellas, o a su alrededor, se vaya depositando arena.







Las playas

Las playas de arena y las playas de guijarros son las que, en general, están expuestas a una acción de las olas más bien fuerte, por lo que los organismos que en ellas viven necesitan comúnmente tener conchas robustas o mecanismos que les permitan hundirse en el substrato para protegerse del ímpetu de las aguas. En ellas hay numerosos peñascos; a pesar de lo cual las algas pluricelulares no tienen posibilidad de aferrarse; así, la mayor parte de los restos de algas, de los que se alimentan los animales que pueblan las playas de arena, son transportados por la corriente y se acumulan en superficie o en profundidad en la parte más alta de la playa. Después de una tormenta, estos bancos de *kelp* (algas marinas del género *Fucus)*, de plantas marinas y de otras algas marcescentes proporcionan una fuente abundantísima de sustancias nutritivas a todo tipo de crustáceos, insectos y aves marinas de los litorales.

Cada grano de arena (o los cantos rodados, o el cascajo y los guijarros cuando están aplanados) ruedan entre las olas y se alisan entre sí, por lo que el substrato está casi en constante movimiento; esto lo hace inhóspito para cualquier organismo, excepto para los especialmente adaptados. También el agua intersticial, en la playa, está sometida a fuertes cambios. Después de llover, en la playa, el agua de lluvia es absorbida rápidamente y diluye el agua de mar que, por eso, se vuelve sólo ligeramente salobre. En algunas localidades se produce también una constante filtración de agua dulce (aguas subterráneas) desde las formaciones costeras.

En las latitudes tropicales, dondequiera que las arenas de las playas incluyen un porcentaje modesto (o incluso elevado) de carbonato de calcio (fragmentos de caparazones de moluscos triturados, grandes foraminíferos, etc.), el agua dulce disuelve en el agua intersticial una parte del carbonato, el cual vuelve a precipitar cuando la playa se seca al tórrido sol tropical. Se forma así una roca dura, apelmazada naturalmente en la misma precisa conformación de la playa de arena originaria. Esta roca se forma con tanta rapidez que a menudo se encuentran sólidamente metidos en ella productos de manufactura moderna, como botellas. En la costa meridional de la India, cada año la gente extrae rocas del tipo descrito como excelente material de construcción; pero con el siguiente monzón se vuelve a formar una nueva roca en la playa y se tiene así un caso prácticamente único de recurso natural perpetuamente renovable. Esto proporciona, además, un hábitat muy estable, que falta en cambio en las playas de arena con una textura mucho menos compacta, por lo que en las citadas latitudes la variedad de las poblaciones intercotidales aumenta de forma muy marcada.

Las poblaciones de invertebrados en las playas de arena se dividen en dos tipos: los que viven establemente en la parte más baja de la playa, y los que se trasladan a ella de cuando en cuando. Los primeros son bivalvos que viven hundidos en el fondo (como la almeja, *Mya arenaria, Donax)*, la navaja *(Ensis ensis)* o el berberecho *(Cardium edule)*, que se limitan a «echar el cierre» cuando su hábitat queda al descubierto, reabriendo las valvas y extendiendo los sifones para alimentarse y respirar en cuanto regresa el agua. En este ambiente viven también los poliquetos, entre ellos *Arenicola marina*, y pequeños crustáceos excavadores. El segundo tipo de población lo representan en cambio los «visitantes» que viven normalmente en la parte más alta de la playa o incluso «tierra adentro»: diversos cangrejos, anfípodos, coleópteros cicindélidos y aves. Cuando baja la marea salen para «entrar a saco».

La depredación en la franja intercotidal representa una doble amenaza: los animales de respiración aérea bajan desde tierra hacia el mar para explorar el hábitat de la playa en cuanto baja la marea, mientras que, cuando sube, los depredadores y los animales que se nutren de





Formaciones de arena. *Las costas marinas de arena se presentan preferentemente como largas barreras de arena e islas en alta mar. Se forman por la acción de las olas y por el traslado de arena debido a las corrientes a lo largo de la costa. Las arenas muy finas se encuentran en lugares protegidos, mientras las de granos más gruesos son típicas de zonas donde la acción de las olas es más intensa.*

residuos procedentes de mar abierto son transportados por las olas hacia tierra y se alimentan de animales bentónicos que en el fondo marino capturan partículas alimenticias mediante filtración. Cuando el temporal provoca desplazamientos imprevistos de la arena de las playas, pueden producirse catastróficas pérdidas en las especies hundidas en el fondo, al quedar al descubierto, con lo que las poblaciones disminuyen drásticamente. Se ha referido que las aves marinas conocidas como ostreros, y cuyo nombre científico es *Haematopus ostralegus,* pueden consumir individualmente 500 almejas al día, eliminando, a veces, hasta el 70 por 100 de su población.

La vida en la arena

Las playas de arena están generalmente menos pobladas de animales marinos que las rocosas. Estos animales son en su mayoría especies excavadoras, esto es, que viven bajo tierra y a los que, por tanto, difícilmente ve quien pasea por la playa. También ellos tienen una distribución por zonas que sólo excavando se puede descubrir.

La franja superior de las playas de arena está en general habitada por crustáceos; en las costas templadas, los más comunes son los anfípodos o pulgas de mar (por ejemplo, en las costas americanas del Pacífico, varias especies del género *Orchestoidea)*, que viven en la parte superior de las playas de arena, siendo el *kelp* su principal fuente de alimento. Estas algas laminarias, sobre todo en verano, albergan a gran cantidad de insectos. En las playas tropicales de arena, esta zona intercotidal superior está dominada por los cangrejos fantasma.

Gusanos y crustáceos se encuentran en igual medida en la franja intermedia de la zona intercotidal, mientras a la franja inferior la caracterizan moluscos, gusanos, crustáceos y otros grupos de animales. Muchos cangrejos de las franjas intermedia e inferior forman grandes agregados y, en ocasiones, pueden alcanzar longitudes de muchos centímetros. En general, cuanto más finos son los granos de arena más vasta es la población. Por ejemplo, en la bajamar, en las playas de arena indopacíficas subtropicales, que están constituidas por arenas relativamente finas, abundan los cangrejos ermitaños. Los organismos que viven en las playas de arena deben afrontar, a cada ciclo de marea, el movimiento de la arena, la cual ejerce un efecto de pulimentación o de abrasión sobre sus caparazones o su epidermis. Las condiciones más difíciles se dan, generalmente, en las playas con arena muy gruesa. Los granos pueden alcanzar en este caso 1-2 milímetros de diámetro y aún más. Tales ambientes no hospedan a grandes invertebrados, mientras las playas con sedimentos más finos (dimensiones de los granos de arena inferiores a 0,25 milímetros) están menos sometidas al movimiento de la arena y pobladas, por eso, por un mayor número tanto de especies como de individuos.



Distribución por zonas de la costa. *La costa de arena puede subdividirse en: zona de dunas, franja superior, zona intercotidal y zona subcotidal. Muchas de las especies animales que en ella habitan son excavadoras, y para observarlas hay que escarbar en la arena.*

Pino rojo
Lagartija
Bufo fowleri
Avispa excavadora
Víbora
Multilidae
Cicindélidos
Tijereta
Grillo cebollero
Gavió
Araña
Pulga de mar
Saltamontes
Larva de cicindela
Micrótus
Cangrejo fantasma

charrán

charrán

Ereunetes pusillus

pleamar

bajamar

Atherinidae

gamba

cangrejo ermitaño

dólar de la arena

pleuronéctido

caracol

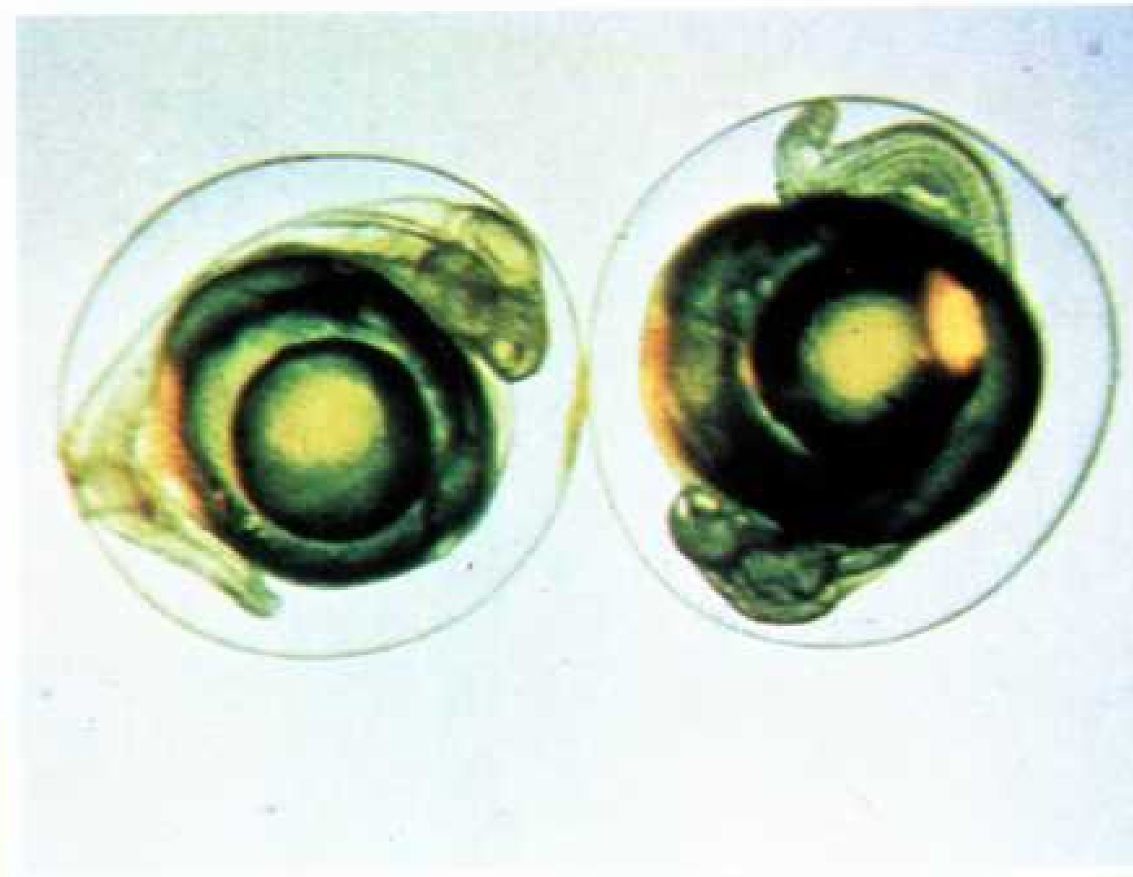
Ovalipes ocellatus

Naticidae

Callinectes







Las especies visitantes. *Además de las especies que viven establemente en la arena, en las playas arenosas se observa la presencia de numerosas especies «visitantes». Por ejemplo, en la California meridional, el aterínido* Leuresthes tenuis *deposita los huevos en la arena en la zona a donde llega el agua durante las mareas altas primaverales (arriba, a la izquierda y en el centro). Los huevos se desarrollan en este ambiente y las larvas que de ellos se forman (arriba a la derecha) son arrastradas al mar por el agua, en concordancia con la serie sucesiva de mareas primaverales, uniéndose así al plancton oceánico, junto con los organismos flotantes. Otra especie fácilmente visible durante la bajamar en las playas indopacíficas es el cangrejo ermitaño (arriba del todo).*

Comunidades de este tipo incluyen a menudo especies comestibles como el berberecho *(Cardium edule)* de la Europa occidental y otro molusco bivalvo, *Tivela stultorum,* de California.

Es curiosa la relación simbiótica establecida entre un modesto platelminto de la zona intercotidal y las algas verdes que alberga en su sistema digestivo. Para estimular la actividad fotosintética del alga, el platelminto, durante la bajamar, en las horas diurnas, permanece al descubierto en la playa. El alga elimina el anhídrido carbónico de otros desechos de su intestino y en cambio lo reabastece de oxígeno.

Algunos de los animales que viven en la playa, como las pulgas de mar y ciertos crustáceos isópodos, transportan consigo los huevos hasta que nacen las crías; sin embargo, no es ésta la norma, pues la mayor parte de la fauna presente en este hábitat deposita los gametos (huevos y espermatozoides) en el mar.

Así, cuando los recién nacidos empiezan a nadar, son llevados por las olas lejos de la playa de origen. En consecuencia, se pueden formar nuevas colonias en playas distantes del territorio ocupado por los padres. Pero a menudo no logran sobrevivir hasta la fase reproductiva. Por eso, las poblaciones que se encuentran en las playas son a menudo esporádicas e imprevisibles, sobre todo donde la duración de la vida es de uno o dos años solamente.











***Flora y fauna de la arena**. La vegetación se limita a pocas especies: arriba, dos ejemplos. El combatiente* Philomachus pugnax *(en el centro) busca el alimento en la orilla del mar; en la arena del fondo viven erizos de mar y dólares de las arenas (a la izquierda). Abajo: el gasterópodo* Peringia ulvae *flota en la pleamar justo debajo de la superficie, mientras durante la bajamar se hunde en la arena.*













Los litorales fangosos

La acción de las olas impide que el fango se sedimente en la zona litoral de costas abiertas, a no ser en determinadas condiciones y circunstancias especiales. Estas condiciones se dan a veces donde el delta de un río vierte en el mar los propios sedimentos a tal velocidad que se forma una playa fangosa: es lo que se observa, por ejemplo, cerca de las bocas del Mississippi. Otra circunstancia de carácter regional es la que se produce a bajas latitudes, cuando la vegetación de mangles echa raíces en los sedimentos costeros y se difunde rápidamente, por lo que el entramado de raíces y la vegetación marcescente se combinan frenando las normales corrientes marinas y la acción de las olas. En tales situaciones, el fango se acumula haciendo que la plataforma avance gradualmente.

El fino material que compone las playas fangosas consiste en partículas de cuarzo impalpables y escamillas microscópicas de mineral arcilloso, además de detritos orgánicos triturados. Esta textura de grano fino es sumamente importante para el desarrollo de las bacterias. El factor limitante fundamental para el crecimiento de la población de bacterias es, en cambio, el área de las superficies del substrato que está disponible y que aumenta con la disminución de las dimensiones de las partículas. En los pocos milímetros de encima, el agua intersticial que se encuentra en el fango está oxigenada, pero el grano muy fino del fango mismo la inutiliza, por lo que, ya a pocos centímetros de profundidad, se torna anóxica, esto es, desprovista de oxígeno, y por lo tanto tóxica para la mayoría de los organismos vivos. En tales circunstancias, las principales bacterias presentes obtienen la energía necesaria del oxígeno contenido en los iones sulfato del agua de mar, liberando ácido sulfhídrico.

Pese al substrato poco propicio, hay en él numerosos organismos que viven en la superficie de las playas fangosas. Esto se debe en parte al hecho de que está menos sometido a la turbulencia de las olas y en parte a que diversas criaturas logran sepultarse fácilmente en este tipo de sedimento de grano fino. En general, se encuentran en él amplias poblaciones de gasterópodos y los rastros que estos animales dejan indican una notable actividad reptante durante los ciclos de las mareas. Se ha descubierto que los bígaros, para orientarse, reaccionan a la posición del sol, rigiéndose por el ciclo de las mareas. La captura del alimento comienza una vez que ha emergido y el animal hace un recorrido en U, siguiendo al sol y volviendo al final casi al punto de partida.

Como ecosistema general y fuentes directas de alimento, las playas fangosas tienen una productividad superior a la de las playas de arena. Por ejemplo, mientras una de éstas puede acoger a una o dos especies de moluscos bivalvos comestibles, una playa fangosa podría albergar hasta cinco especies de estos mismos moluscos, los cuales para protegerse se han adaptado a vivir bajo el fango, a menudo a 30-50 centímetros de profundidad.

En general, con la creciente estabilidad del hábitat, aumenta en las zonas intercotidales la complejidad y la productividad de las comunidades. En o sobre las playas fangosas viven permanentemente más especies e individuos que en las playas de arena. Aquéllas constituyen una reserva de alimento también para un gran número de otras especies, que emigran a ella cuando la marea está alta. Están luego los peces que se esconden en el fango durante el ciclo de la marea baja. En las playas fangosas de la isla de Santa Catalina —frente a las costas de la California meridional— se han identificado cinco especies de este tipo, extrayéndolas del lodo en la bajamar.

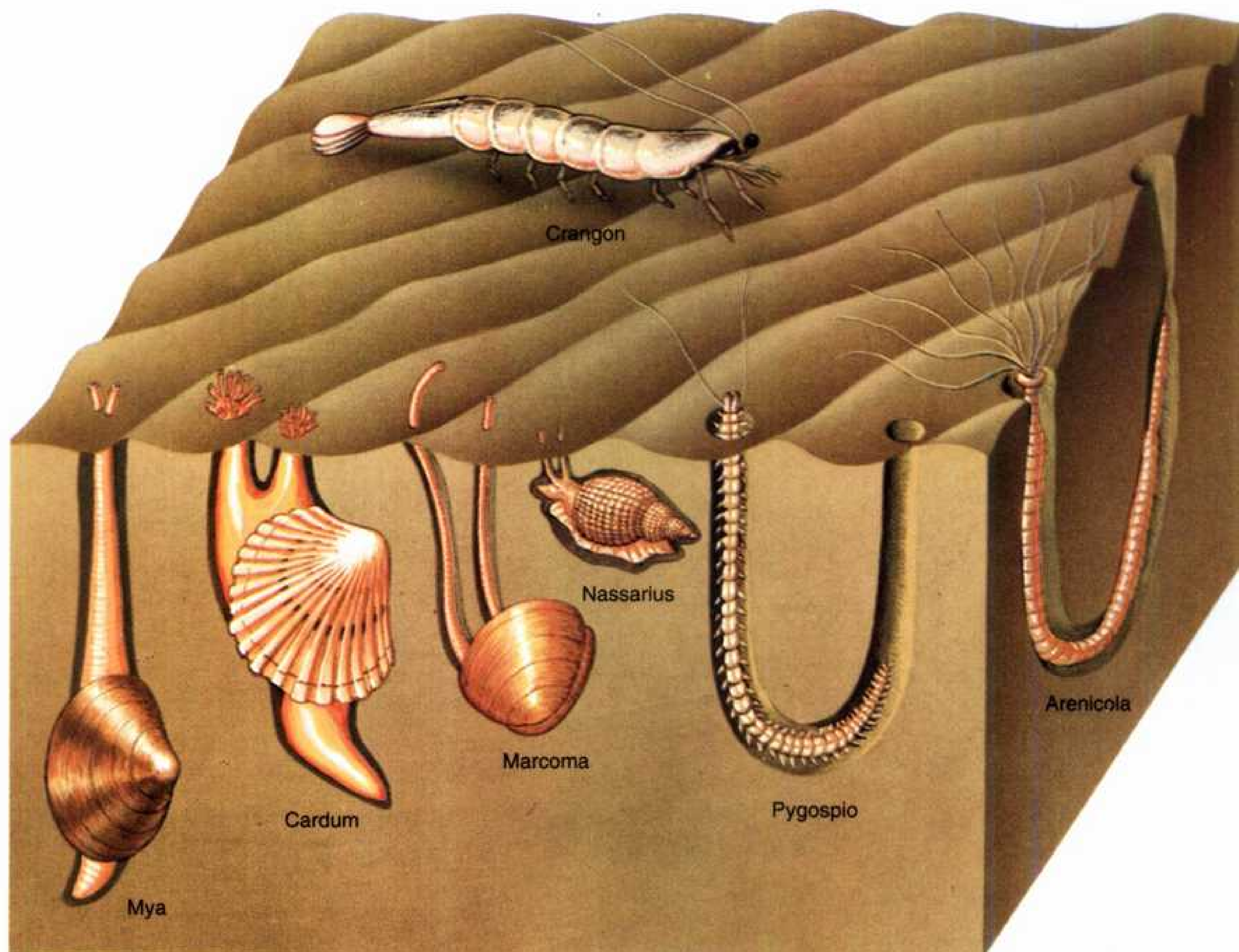
Como las de arena, las playas fangosas están pobladas frecuentemente por un elevado número de crustáceos, localizados en la parte más baja de la zona intercotidal. La «gamba fantasma» *(Callianassa)* es uno de los ejemplos más interesantes de este grupo. Los ejemplares viven en cavidades del fango y son recogidos por los pescadores durante la marea baja. Sus agujeros son muy característicos: cuando los geólogos los encuentran en las antiguas formaciones costeras por encima del actual nivel medio del mar, obtienen una prueba del cambio experimentado en el nivel del agua o de la tierra.





Dondequiera que haya un relieve, aunque sea de pocos centímetros, por encima del nivel de la playa fangosa (por ejemplo, los restos de un antiguo dique de arena o de un peñasco o un poco de cascajo), se advierte un dramático cambio en la población y se pasa de los animales excavadores a las especies adaptadas a vivir en superficie, pero dotadas de medios para fijarse sólidamente al substrato. Los mejillones *(Mytilus)* son frecuentes en estas zonas y pueden formar incluso colonias conformadas como un miniatolón, recibiendo los márgenes exteriores agua más limpia, mientras la parte central está desprovista de vida y bloqueada por los sedimentos.

La enorme cantidad de detritos orgánicos sirve también para alimentar a una abundante población de peces, crustáceos y holoturias bentónicos y multitud de gusanos que nadan en el agua o emergen de sus galerías durante el ciclo de la marea alta. En el ciclo de la bajamar, en cambio, son las zancudas de largo pico las que se alimentan de estos animales sepultados en el fango, y los cangrejos, particularmente los cangrejos violinistas *(Uca)* que, como hemos visto en otras ocasiones, tienen una pinza enormemente desarrollada. La fuente de detritos orgánicos en latitudes medias y altas es principalmente la vegetación de pantano del tipo *Spartina,* mientras en las bajas latitudes está constituida por plantas del tipo manglar, que ofrecen a las playas fangosas una protección muy superior.





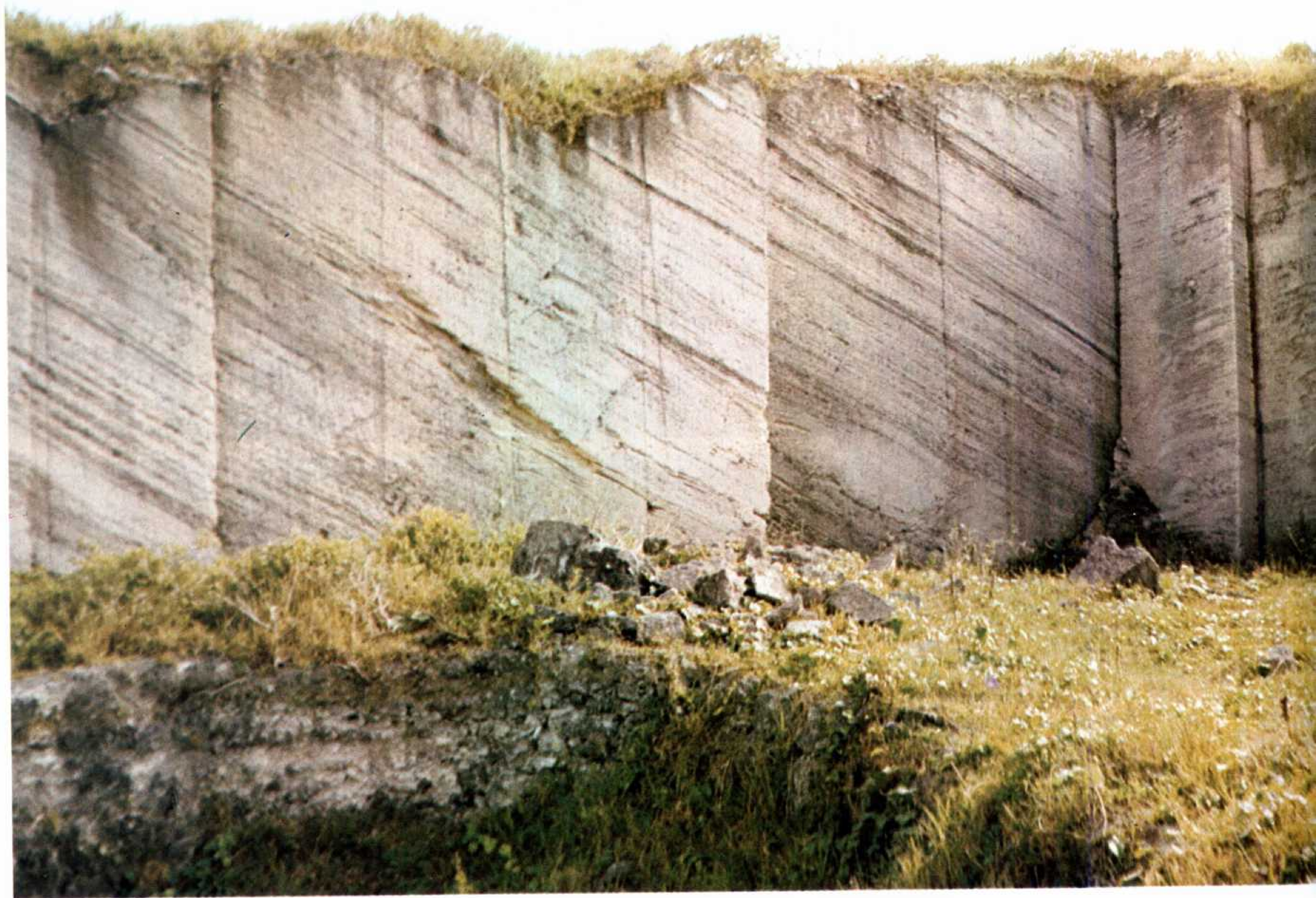






Organismos que habitan en el fango. *Las costas fangosas (dibujo de la página anterior, arriba), constituidas por finas partículas orgánicas e inorgánicas, albergan animales sumamente especializados que se esconden en el fango; obtienen su alimento en la superficie y a veces en las capas fangosas de debajo (dibujo de esta página, arriba). En la página anterior, abajo, gasterópodos en hábitat fangosos. Aquí arriba:* Cardium; *en el centro:* Arenicola *o gusana de los pescadores; arriba, a la derecha, y aquí al lado: cangrejo* Uca *escondiéndose.*

Los tidalitos



En la documentación geológica no resulta difícil conocer antiguas formaciones intercotidales: pliegues en la arena, grietas en el fango, alfombras de algas enredadas, típicos moluscos intercotidales y galerías excavadas por gusanos y crustáceos. Estas formaciones con sus características propias reciben el nombre colectivo de tidalitos.

Una de las principales funciones del geólogo es reconocer las características paleogeográficas —por ejemplo, de las líneas costeras de los antiguos océanos— y su localización en los mapas. Para conocer tales características surgió una nueva ciencia, la «paleoecología», y, efectivamente, buena parte de los primeros trabajos sobre la ecología moderna los llevaron a cabo los geólogos como base para reconocer y comprender los hábitats antiguos.

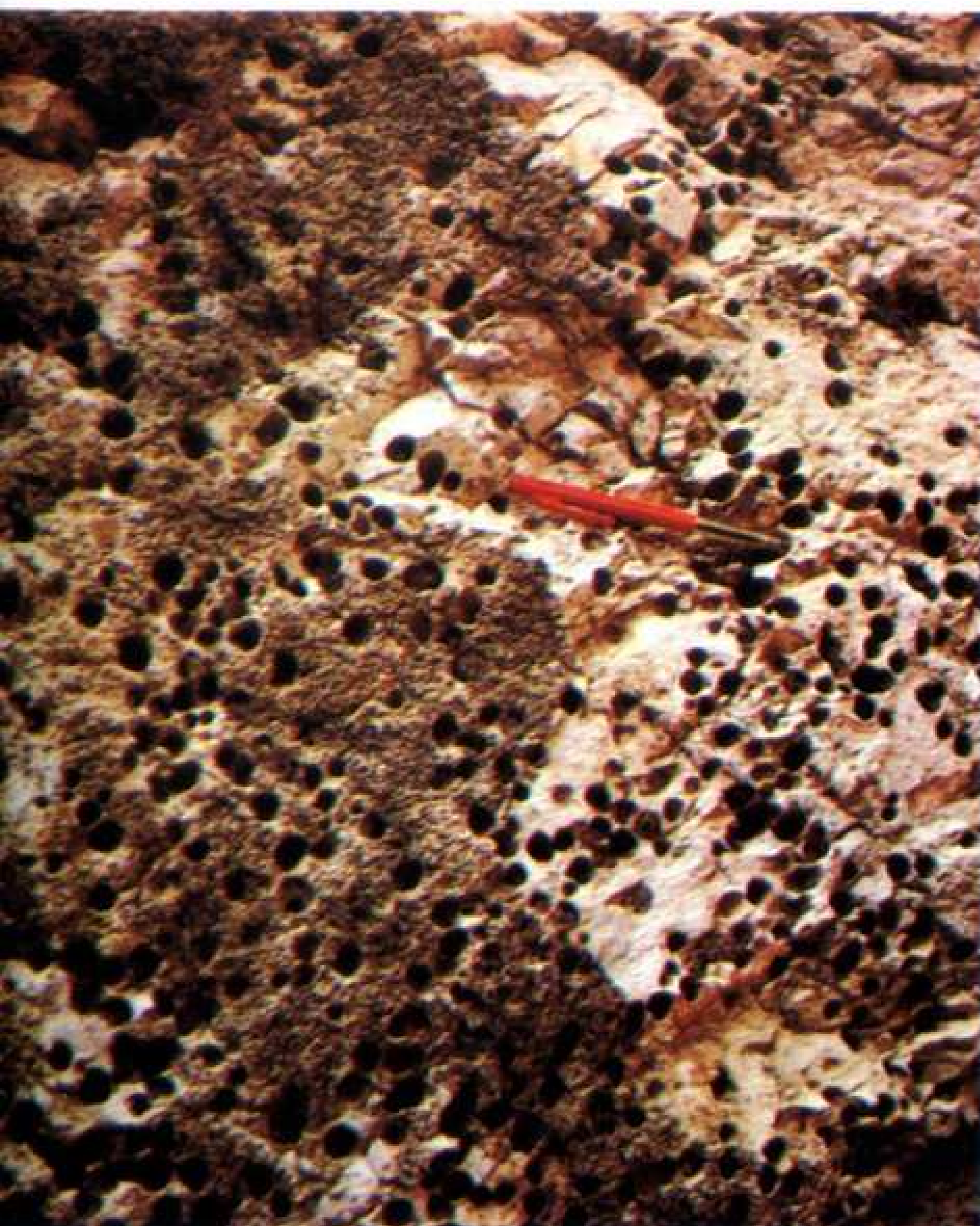
Quizás una de las más importantes aportaciones de la geología es haber establecido que en las formaciones rocosas que se remontan a hace 2,5 mil millones de años se encuentran perfectos duplicados fósiles de las alfombras de algas enredadas, de los pliegues en la arena, de las grietas en el fango, para demostrar que, en todo este inmenso espacio de tiempo, el ambiente intercotidal siguió siendo exactamente el mismo que el actual.

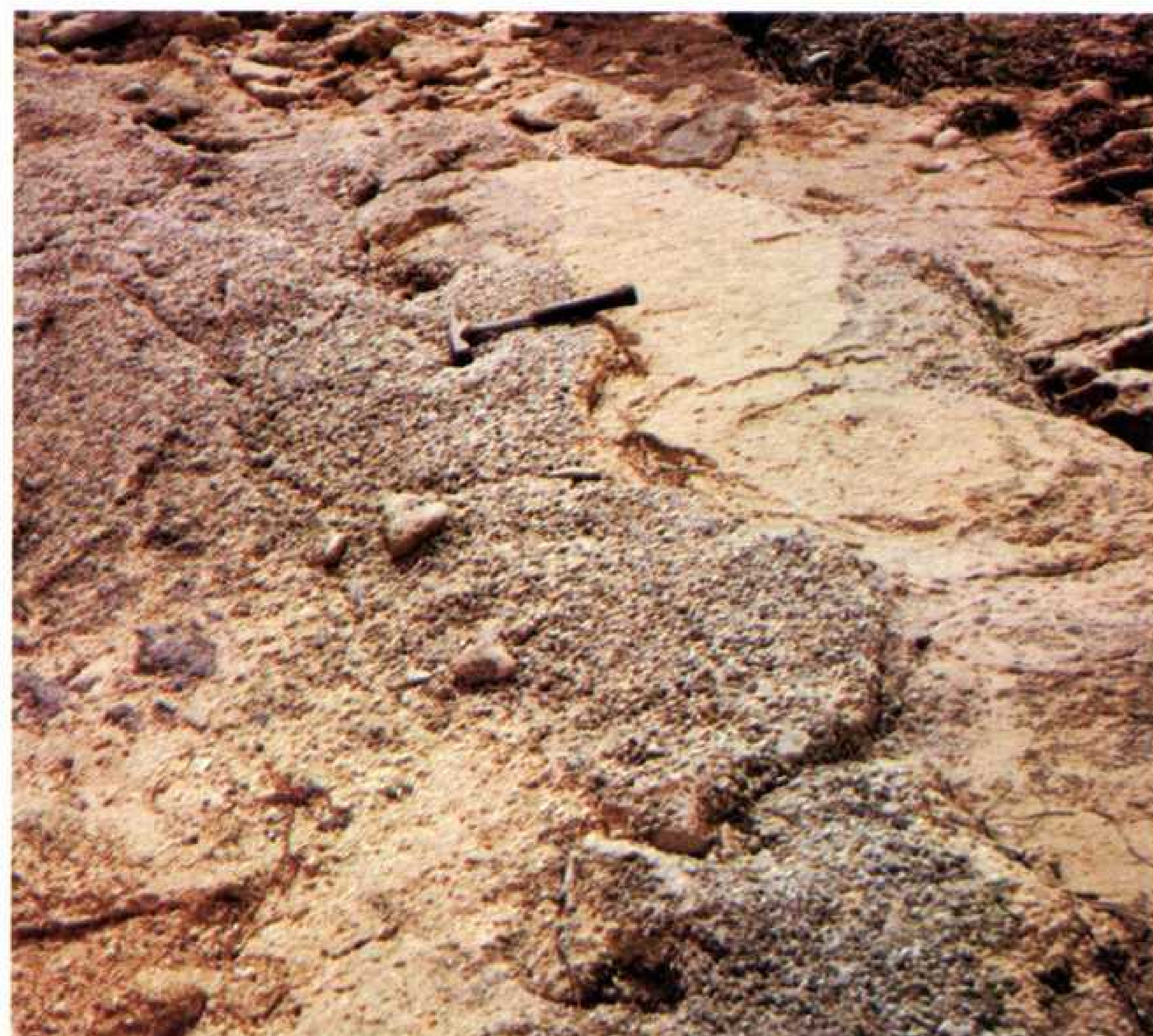
Del estudio de antiguos tidalitos se pueden obtener múltiples informaciones. Ante todo, se puede establecer la latitud, la temperatura y la amplitud de las mareas y la posición de las antiguas líneas costeras. Surge así una interesante anomalía. Los que hacen los mapas han identificado una particular formación tidalítica en un área de más de 200.000 kilómetros cuadrados. Evidentemente, es imposible que en ningún instante del tiempo geológico haya existido una franja intercotidal de semejantes dimensiones. La explicación hay que buscarla en la documentación histórica: gracias a acontecimientos eustáticos vinculados con la tectónica de placas, la antigua línea costera está en constante movimiento, por lo que deja un rastro de depósitos tidalíticos que se hunden en el substrato y se fosilizan, de manera que al final son reconocibles en amplias áreas. En otras palabras, el ambiente se ha conservado, pero con el paso del tiempo su localización se ha desplazado. El fenómeno se llama diacronismo: la formación tiene siempre el mismo aspecto, pero si la seguimos a través de una región, es probable que su edad aumente o disminuya.

La suma de los caracteres típicos que definen a un tidalito, o a cualquier otra formación oceanográfica —de mar profundo, de delta, de barrera coralina, etc.— se conoce con el nombre de facies, esto







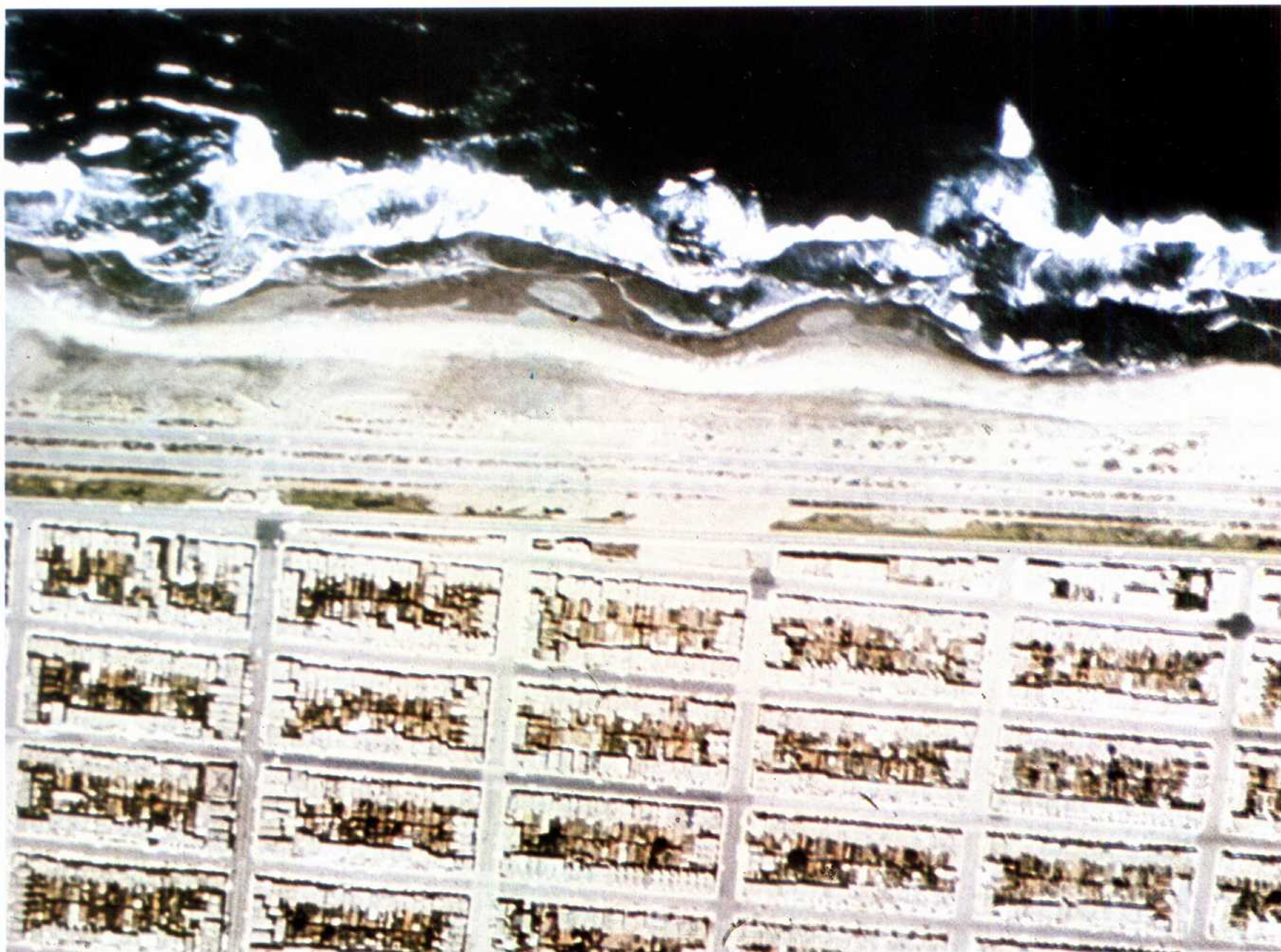


Formaciones cotidales y comunidades del pasado. *En la página anterior: dunas de arena costeras que han asumido un aspecto lítico. En esta página, formaciones de playas que se remontan a 125.000 años: monte Circeo (arriba, a la izquierda); cerca de Djerba (arriba) y en Chebba, Tunicia (a la izquierda). En la extrema izquierda: agujeros producidos por* Lithophagus *hace 125.000 años. Abajo: alteraciones, debidas a los agentes atmosféricos, de sedimentos en una zona intercotidal del Terciario.*

es, el conjunto de los caracteres asociados. No deja de ser interesante que este término lo propusiera un geólogo suizo, Armand Gressly, hace ya más de un siglo. Queriendo estudiar los Alpes a partir de lo que hoy se conoce, organizó una expedición oceanográfica privada que lo llevó al mar del Norte hasta los confines del océano Artico. En este viaje, se le ocurrió gradualmente la idea de que diversas asociaciones de la flora, la fauna y sedimentos caracterizaban diferentes latitudes y ambientes geográficos (en un momento muy preciso: hoy), pero ya anteriormente había sospechado que lo mismo se habría verificado en las grandes formaciones de acarreo de los Alpes. El concepto de *facies* introducido por Gressly permitió que los geólogos modernos aclararan la naturaleza de esas complejas estructuras que se pueden encontrar en todo el mundo.



La influencia del hombre



TODAS las zonas intercotidales están hoy cada vez más influidas por la población humana en aumento. En algunos casos se trata de la sutil influencia de agentes contaminantes invisibles introducidos en el aire o en el agua; pero en otros casos se trata de factores muy visibles, aunque a menudo ignorados.

Uno de los factores más importantes reside en la multitud de personas que usa las zonas intercotidales para divertirse o descansar. Ya desde hace tiempo se ha advertido el impacto de la gente que ha caminado sobre costas rocosas o barreras coralinas. Poca atención, en cambio, se ha prestado a todos cuantos en gran número ocupan una playa en día festivo. La enorme cantidad de desechos (papeles, plásticos, latas y botellas) que la gente deja en la playa o que el agua lleva a la orilla requieren una sucesiva operación de limpieza (por ejemplo, con rastrillo), lo que con frecuencia elimina también las fuentes alimentarias naturales (por ejemplo, el *kelp*) que se encuentran en muchas playas de arena, como también, en ciertos casos, los mismos organismos. Las playas públicas, que frecuentemente son limpiadas de este modo, o no cuentan con poblaciones de anfípodos o éstas son muy escasas. Pero ¿por qué preocuparnos tanto de estos pequeños crustáceos? En primer lugar, porque representan un medio natural que ayuda a eliminar el material orgánico de la playa; y después, porque constituyen una fuente alimentaria para las especies de peces comestibles que se alimentan en superficie.

Además del papel, del plástico, de las botellas y trozos de cristal, se encuentran también latas de conserva y envases de aluminio. Estos fragmentos de metal doblados se instalan a menudo en las branquias de los peces o en los orificios respiratorios de los cetáceos, con los consabidos efectos letales para estos animales.

Uno de los impactos humanos más evidentes es el de la contaminación por petróleo, que da lugar a ruidosas manifestaciones de protesta en nombre de la ecología. Los aceites pesados son en general menos tóxicos que las formas más ligeras y menos visibles del petróleo. En efecto, parece que en algunas zonas (por ejemplo, en California) ciertos organismos se han adaptado a la presencia del aceite pesado que procede de infiltraciones del petróleo natural. Esto no significa en modo alguno que los derrames de petróleo no sean graves. La espuma que, en el estrecho de Magallanes, se acumuló como consecuencia de un derrame de petróleo del *Metula* ha permanecido allí muchos años y, desde entonces, ha impedido que los biotopos vuelvan a su estado natural.

En términos generales, las zonas intercotidales están sometidas a presiones naturales y humanas mayores que las subcotidales del ambiente marino. Consecuentemente se advierten a menudo notables fluctuaciones en las poblaciones. Mientras tales desplazamientos se producen dentro de límites «normales», las zonas deberían de recobrarse del impacto producido por el hombre. En cambio, con el incremento de las presiones como consecuencia del aumento demográfico, podrá hacerse necesario contener y regular el impacto humano.

Las playas muy pobladas. *Los grandes asentamientos costeros pueden hacer desaparecer las fuentes alimentarias naturales y a los organismos que de ellas viven.*

Estuarios, deltas y lagunas

Ecosistemas de aguas mixtas

DONDEQUIERA los cursos de agua llegan al mar, se observa cómo rápidamente se mezclan las aguas dulces y saladas. En algunas localidades, el volumen de agua vertido por el río en el mar es tan grande (tal ocurre, por ejemplo, con el Amazonas) que un «penacho» de agua dulce puede llegar hasta 100 kilómetros mar adentro y ser potable todavía. En otros casos, el flujo de un curso de agua varía con las estaciones, y durante años enteros puede reducirse prácticamente a cero, como ocurre a lo largo de las costas de Arabia.

Un río que desemboca en el mar arrastra consigo también una carga de sedimentos. Un cuerpo hídrico con curso rápido transporta fango en forma de suspensión turbia, mientras en el fondo parece rodar sobre un espeso estrato de arena y guijarros. Llegando al mar, la velocidad del curso de agua disminuye claramente y la mayor parte de los sedimentos precipita al fondo para acumularse como delta.

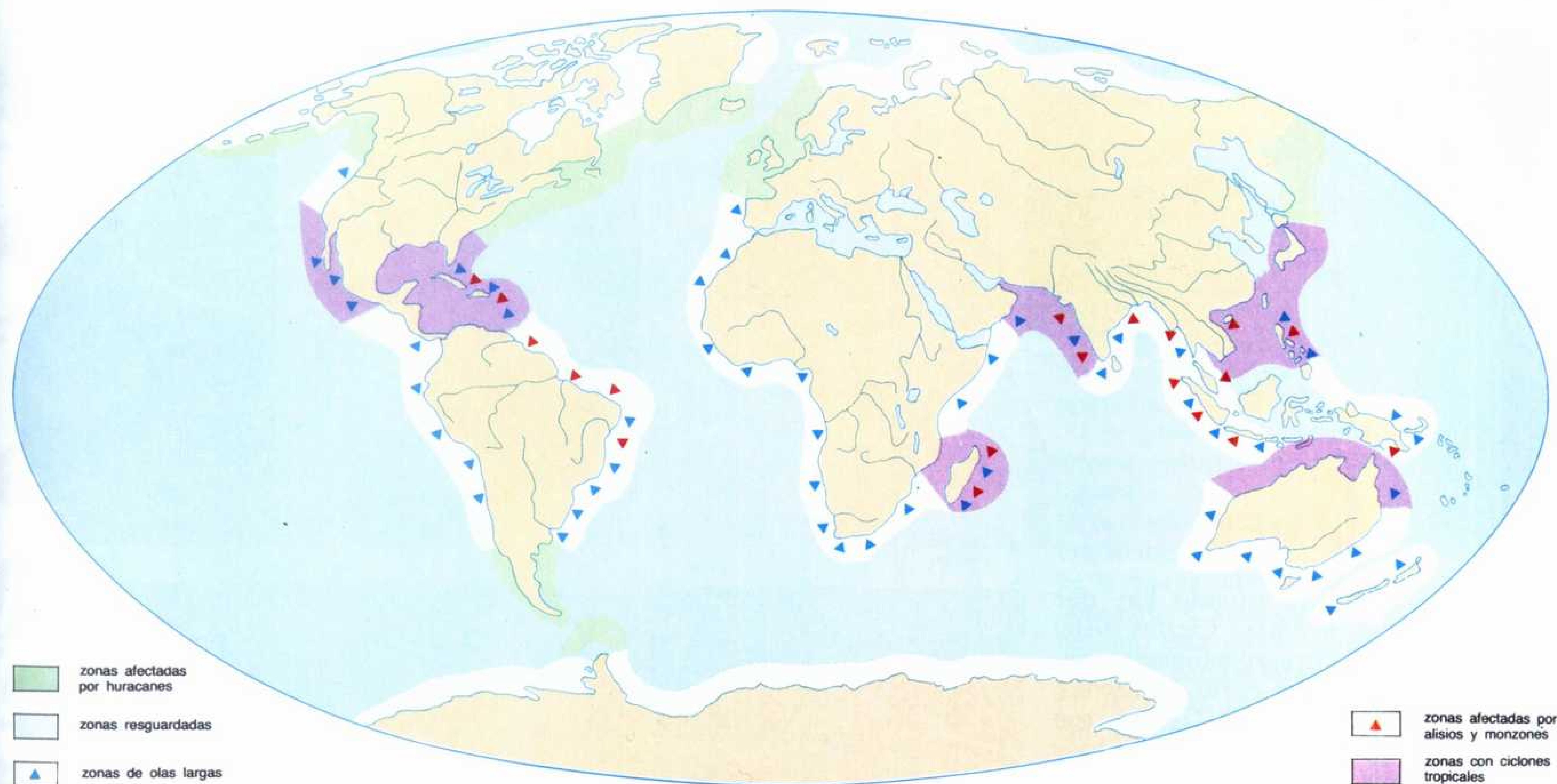
Ya en el siglo V a. de C., Herodoto advertía que el fango del Nilo, al llegar al Mediterráneo, se depositaba en una especie de cuña aluvional en forma de abanico, que llamó precisamente «delta», en recuerdo de la forma de la letra griega. Esta formación característica se advierte hoy en la mayoría de las bocas de los ríos de todo el mundo, y en sus ensenadas, en sus canales y lagunas se desarrolla un ecosistema muy fecundo.

El delta es un depósito de detritos y materiales heteróclitos que se forma en las bocas de un río. Generalmente, al delta se contrapone el estuario, definido como bocas con desembocadura unitaria que, en vez de expanderse hacia el mar como el precedente, se desarrolla hacia dentro del límite costero. Aquí, en cambio, se adopta una definición de estuario más amplia.

El estuario (del latín *aestuarium,* lugar donde las aguas hierven, de *aestuare,* hervir) es la parte de las bocas de un río que está influida por la acción de las mareas y el mezclarse de las aguas dulces y saladas. En la mayoría de los casos, la acción de las mareas se siente mucho más arriba del punto a donde llega el agua salada; en realidad, el sector de aguas mixtas varía con las estaciones, dependiendo también del caudal del río.

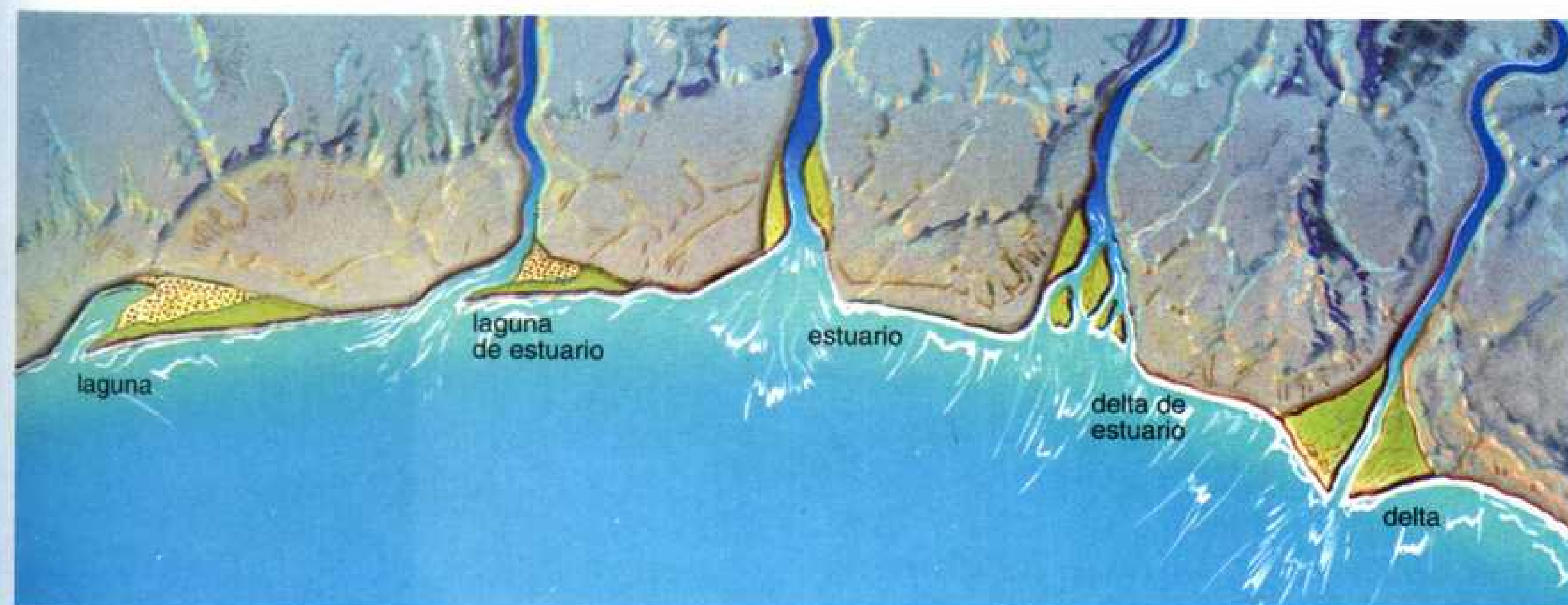
El tercer hábitat de este sistema mixto es la laguna, cuya característica esencial es la construcción o existencia de una barrera de determinado tipo, que la aísla parcialmente del mar. En la generalidad de los casos, se trata de una lengua de arena originada por la acción de las olas a lo largo de la costa: puede suceder que aquélla crezca con el tiempo y acabe por convertirse en una isla de barrera. En los mares tropicales, la barrera puede







Entre ríos y mar. *Los factores que hacen comunes los ambientes de los deltas, de los estuarios y las lagunas (esquematizados en el dibujo de abajo) son la carga del río, el clima local y la amplitud de la marea. De la acción de las olas (arriba, el mapa mundial) dependen en la mayoría de los casos los sistemas de barrera de las playas que determinan la naturaleza de los tres tipos de ambientes citados. A la izquierda, fotografía aérea de un delta, en la que se puede advertir la zona en la que las corrientes vierten en el mar. A la derecha, una barrera formada en la zona del delta del Mississippi.*

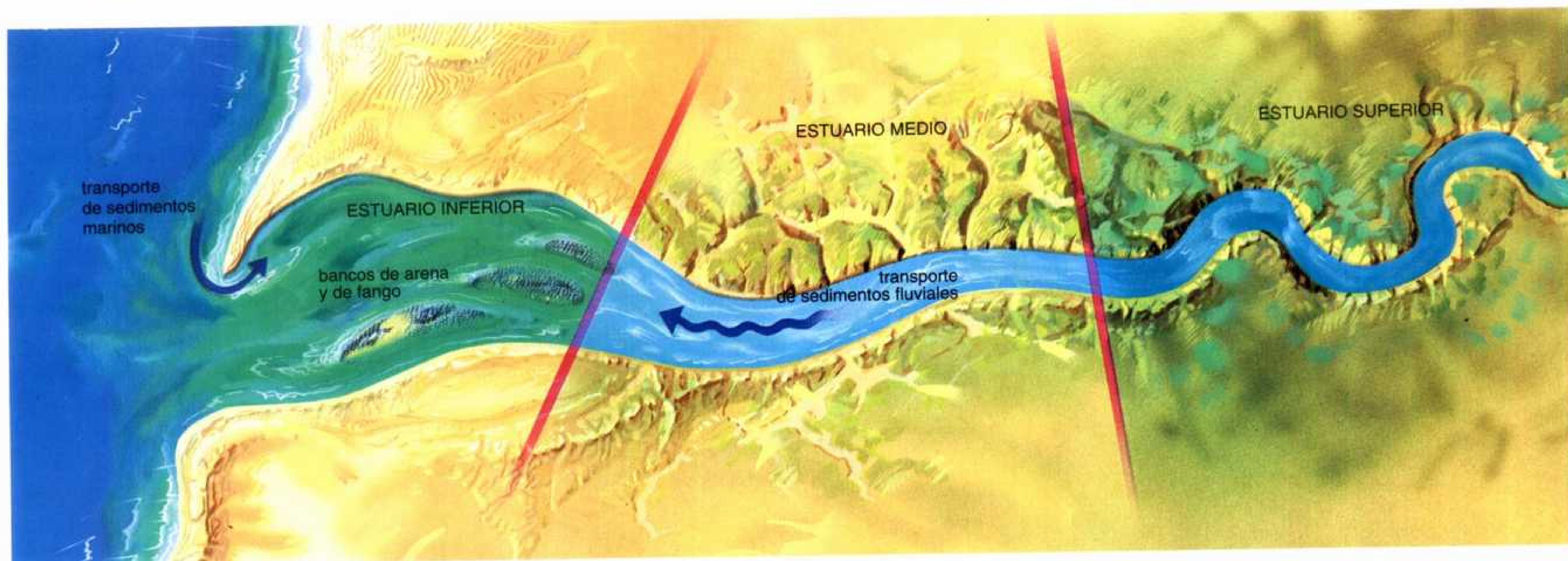


estar constituida por formaciones de coral. El vínculo común que une a los tres ambientes citados anteriormente comprende la amplitud de marea, el acarreo del río y el clima local. La primera tiende a determinar la amplitud de las playas fangosas y la fuerza de las corrientes de flujo y reflujo. El acarreo del río regula en gran parte la cantidad de arena y de fango, aun cuando en ciertas zonas el sedimento sea introducido en el sistema por el mar. Finalmente, el clima local controla la temperatura y la cantidad de agua dulce que la lluvia añade.

En las regiones más cálidas, especialmente a lo largo de las costas caracterizadas por corrientes de agua fría hacia la superficie, el factor climático puede introducir otro control crítico: la evaporación. Muchas de estas situaciones, que se producen en latitudes bajas, se caracterizan por un exceso de salinidad, por lo menos en algunos períodos del año, por lo que las plantas y los animales de tales ecosistemas deben desarrollar adaptaciones particulares. Allí donde los cursos de agua estacionales se secan, un movimiento gradual de la arena a lo largo de la playa puede bloquear temporalmente los pasos entre las islas que constituyen el arco de barrera; en este caso, los deltas, los estuarios y las lagunas quedan aislados y se sigue así con frecuencia una eutrofización.

Es este el modelo natural de lo que a menudo ocurre hoy día a causa de la contaminación humana, por lo que estudiándolo atentamente podremos saber mejor cómo enfrentarnos a los problemas derivados de esta última.

El ambiente del estuario

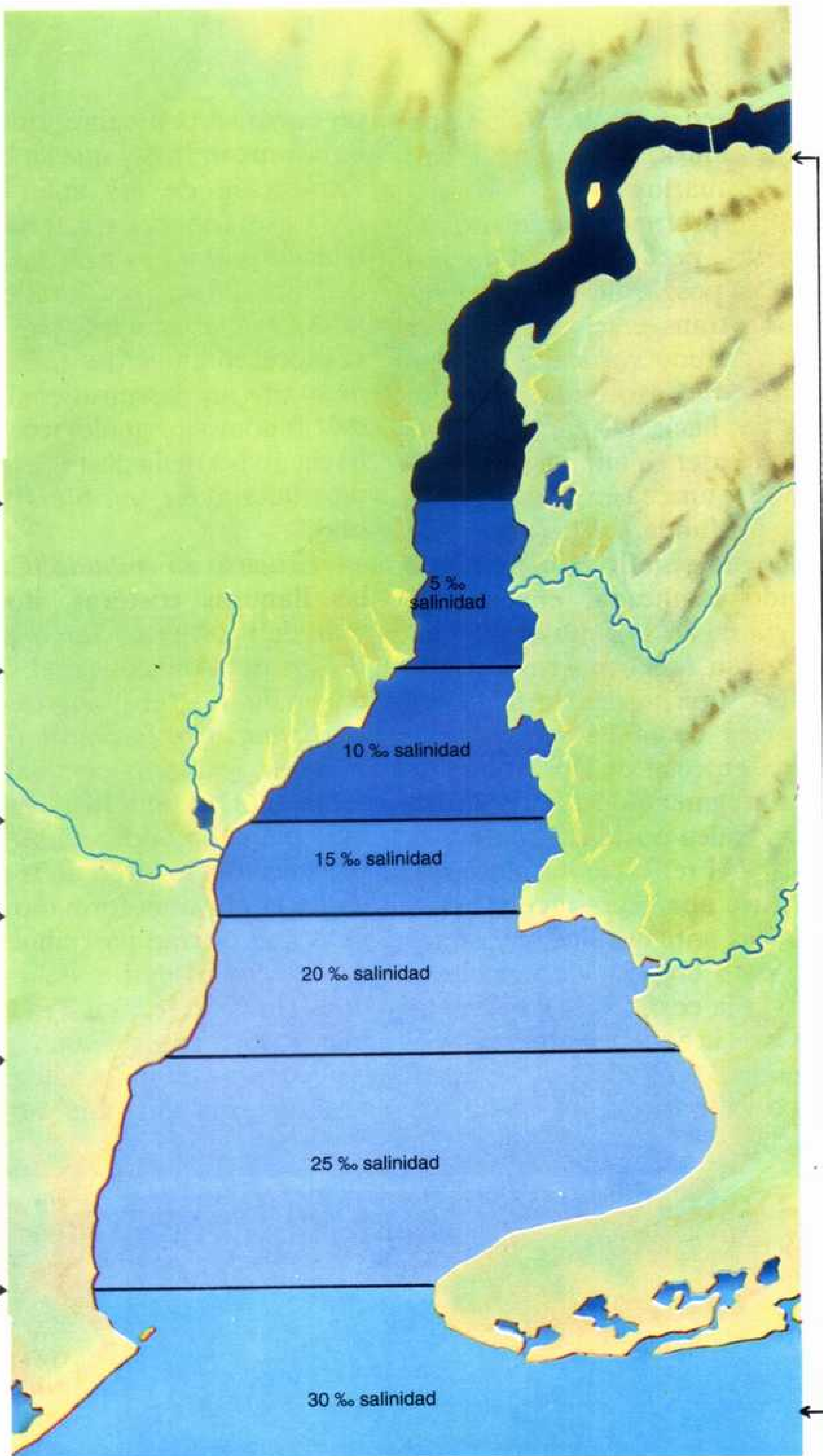


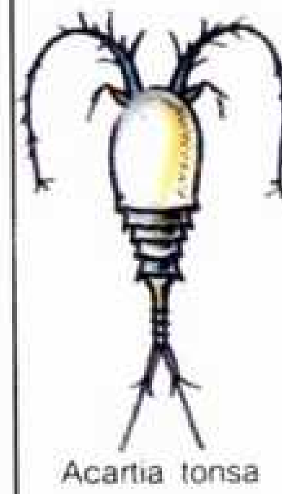
PARA entender el estuario hay que conocer su historia. Ciertos sistemas fluviales son extraordinariamente antiguos. Algunos, como el río Amazonas, el Mississippi, el Rin y el Ganges, son hoy como, poco más o menos, eran hace decenas de millones de años. Pero todos los estuarios se han visto influidos por la subida y el descenso del nivel del mar, que han ido a la par de la fusión y nueva congelación de los hielos en las eras glaciales. A cada descenso (en unos 135 metros) del nivel del mar, el asiento del estuario se desplazaba hacia el mar, hasta el borde de la plataforma continental. Con el sucesivo ascenso del nivel del mar, el estuario —como entidad dinámica— se volvía a desplazar hacia tierra. La mayoría de los hielos se fundieron hace 6.000 años, por lo que se puede fechar el comienzo del actual ciclo de los estuarios.





Los sectores de un estuario. *El grado en que se mezclan las aguas dulces con las saladas en un río determina una distinción ideal del estuario en tres sectores (dibujo de arriba). En el estuario inferior prevalece el agua salada que tiende a hacerse salobre (aquí arriba, a la izquierda). El mezclado de las aguas es típico del estuario medio (arriba, a la derecha). El estuario superior tiene características fluviales y predomina el agua dulce. En la fotografía de abajo, una lengua de arena divide a las aguas marinas (al fondo) de las del río. En el esquema de la página siguiente, distribución de la vida animal en el río Delaware en relación con las variaciones de salinidad; sólo el minúsculo copépodo* Acartia tonsa *vive en aguas con porcentajes de salinidad diversos.*







En la historia de todo estuario se da un tipo bien definido de crecimiento cíclico. Cada estuario, como hábitat en el que los organismos pueden vivir, es considerado hoy en un estadio diverso de su evolución, que depende de la velocidad con que cambian los varios factores energéticos. Cada estuario es único en sí mismo, pero todos se acomodan a este tipo general de crecimiento, por lo que, en vez de como confusión de varias naturalezas, pueden ser estudiados y clasificados de distinta manera, teniendo cada categoría una cierta herencia histórica común. Lo que es particularmente importante conocer hoy para una buena administración ambiental de los cursos de agua, tan contaminados, es el hecho de que cada categoría se desenvuelve en una dirección específica. En una palabra, podemos predecir lo que ocurrirá en el futuro.

Los cambios experimentados por el ambiente del estuario pueden ser registrados hora a hora, diariamente, anualmente y a largo plazo, esto es, por decenios o incluso milenios. Un estuario «ideal» tiene tres sectores, relacionados con el grado en que se mezclan el agua dulce y la salada y con los límites entre los cuales sube y baja la marea. Estos sectores influyen los hábitats y las poblaciones naturales de una forma notable. Son el estuario «inferior», el «medio» y el «superior».

En el estuario «inferior» prevalece el agua de mar; aunque eventualmente, durante el período de lluvias, puede hacerse salobre; el mismo efecto se produce cuando el caudal del río es muy grande (por ejemplo, en las latitudes elevadas, cuando se produce el deshielo); el estuario inferior está a menudo unido con las lagunas.

El estuario «medio» se caracteriza por un fuerte mezclado de las aguas; cuando sube la marea, el agua del mar, al ser más densa que el agua dulce, remonta río arriba bajo esta última a tal punto que un pescador con un largo sedal puede capturar peces de mar en esta especie de «cuña» de agua salada.

En el estuario «superior» predominan las aguas fluviales y, en general, prevalece allí el agua dulce, aunque influida todavía por las mareas; en períodos de gran caudal del río, se mueve aguas arriba una ola de marea, que puede tener varios metros de altura.

El grado en que se mezclan las aguas dulces y saladas y la forma en que se produce dependen de la profundidad, del flujo y de las características de la marea. Así, donde el canal es profundo, el flujo del río fuerte y el efecto de la marea pequeño, se desarrolla una gran «cuña» de agua salada. Se habla en este caso de «sistema estratificado». Las diferencias de salinidad entre la parte superior y el fondo pueden superar el 20 por 100. Una menor diferencia de salinidad caracteriza al «sistema parcialmente mezclado»; mientras que donde el flujo del río es escaso, el canal poco profundo y la amplitud de la marea es grande se tiene un «sistema bien mezclado».

Dada la existencia de fuertes corrientes (tanto mareas fluviales como fenómenos de flujo y reflujo), se comprueba a menudo el efecto de Coriolis, que produce secciones asimétricas. Este fenómeno determina, en el hemisferio septentrional, una orientación de las corrientes hacia la derecha, al contrario de lo que ocurre en el hemisferio meridional. Aunque las corrientes se inviertan regularmente, la que predomina es la corriente de reflujo, reforzada por el flujo del río, por lo que los canales de estuario del hemisferio septentrional tienden a ser más profundos, de forma asimétrica, hacia la margen derecha, y las lagunas formadas por las mareas tienden a ser más amplias en correspondencia de la margen izquierda. También el lado derecho tiende a estar más salado.

Los tipos de estuario

AVANZANDO de norte a sur por el globo terráqueo, se advierte un sutil cambio de los factores de *stress* ambiental, evidente sobre todo en las zonas intercotidales de los estuarios, de las lagunas y de otras formaciones costeras. Bajando desde el Artico a las latitudes ecuatoriales, se da una transición a partir de las regiones bajo influencia de los hielos y de las temperaturas cercanas a los cero grados, y a veces de la sequía. Los sistemas biológicos tienden a verse favorecidos por las temperaturas más cálidas. Un efecto inverso se observa cuando se considera el sucederse de las estaciones: la contraposición entre verano e invierno, difícilmente advertible en los trópicos, aumenta al desplazarse hacia los polos, donde las estaciones de continua oscuridad se alternan con las estaciones con «sol de medianoche».

Se pueden reconocer fácilmente ocho tipos de estuarios, basándose principalmente en las limitaciones climáticas (latitudinales), pero en parte también en factores geológicos, como la entidad de la elevación o de la curvatura hacia abajo de la costa. La mayoría de estos procesos, sin embargo, es tan lenta que en decenios apenas se advierte. De forma aproximada se pueden distinguir de norte a sur (en el hemisferio septentrional) ocho tipos de estuario.

— *Fiordo:* Canal profundo modelado por lenguas de hielo, pero «inundado» hoy por la elevación posglacial del nivel del mar. Su sección transversal es en U; las paredes son a menudo verticales y la ensenada sumamente profunda, excepto cerca de la boca hacia el mar, donde el hielo debió de perder su energía y, consecuentemente, hay una barra rocosa relativamente poco profunda *(sill)*. A causa de esta barra, el agua en el sector profundo está a menudo estancada, envenenada por la presencia de ácido sulfhídrico y caracterizada por un fango negro anóxico. Los fiordos son típicos de Noruega, de Nueva Zelanda y de la Patagonia.

— *Fjärd:* Tipo especial de fiordo con un relieve bajo y fragmentado a menudo en canales transversales e islotes frente a la costa *(skerries)*. Al retirarse los glaciares, la costra terrestre aparece aquí elevada y se pueden ver las antiguas líneas costeras del estuario como crestas subparalelas a lo largo de toda la costa. Los *fjärden* son muy conocidos en la Suecia meridional y el Canadá ártico.

— *Ría:* Típico valle fluvial inundado con un curso serpenteante, que delata los antiguos meandros y que se bifurca según la disposición de los anteriores afluentes. Este estuario es característico de España (rías altas y bajas gallegas, por ejemplo), de Portugal, de la China meridional y de la Australia oriental. Una leve variación la representan ciertas rías que han experimentado un descenso como consecuencia del fenómeno geológico de inclinación hacia abajo de la costa. Ejemplo, la bahía de Chesapeake (en Maryland y en Virginia).

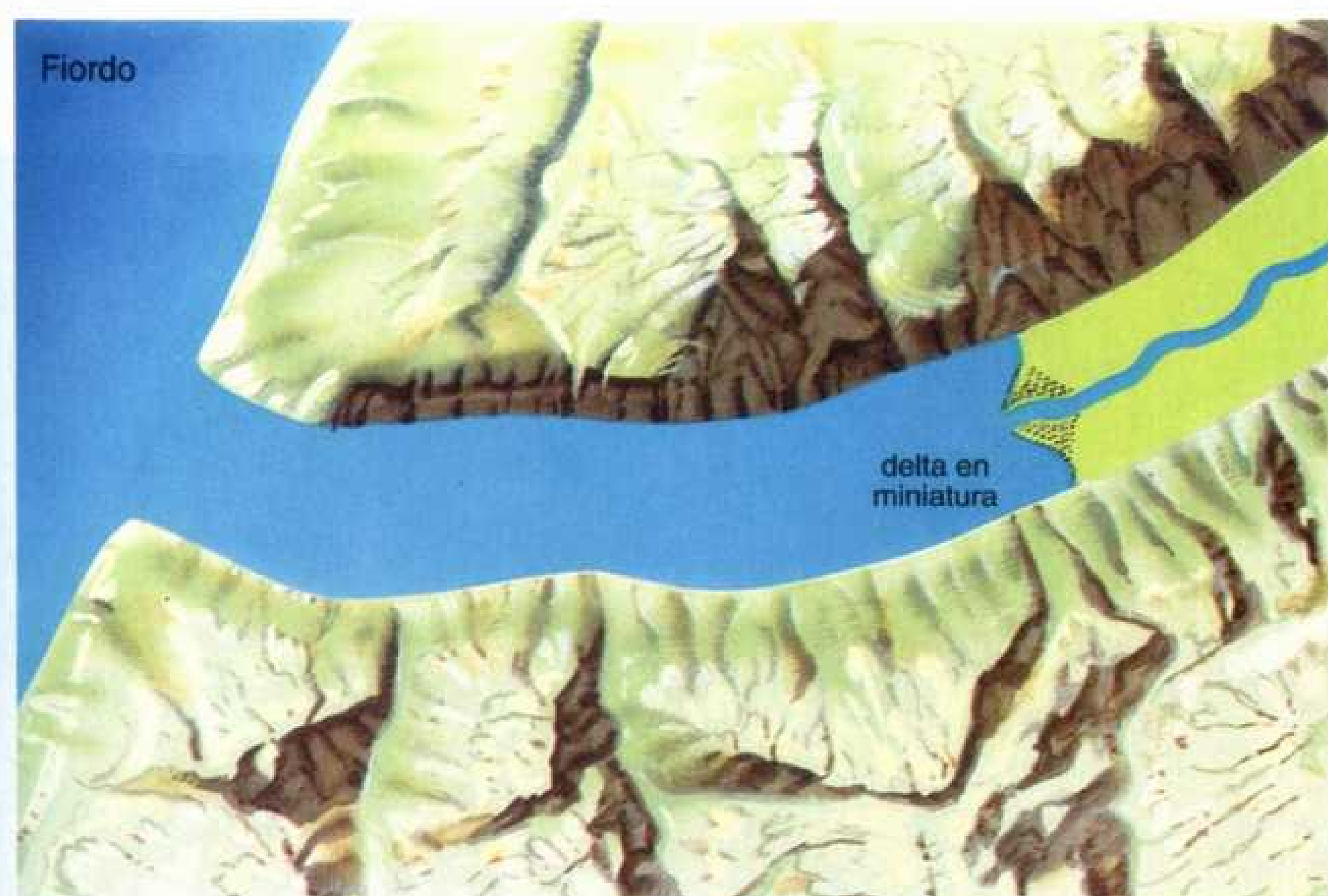
— *Estuario en embudo:* Característico de las llanuras costeras, donde existe un gran delta abierto. Son ejemplos elocuentes los del Amazonas, el Orinoco, el Río de la Plata y el Yang-tse-Kiang.

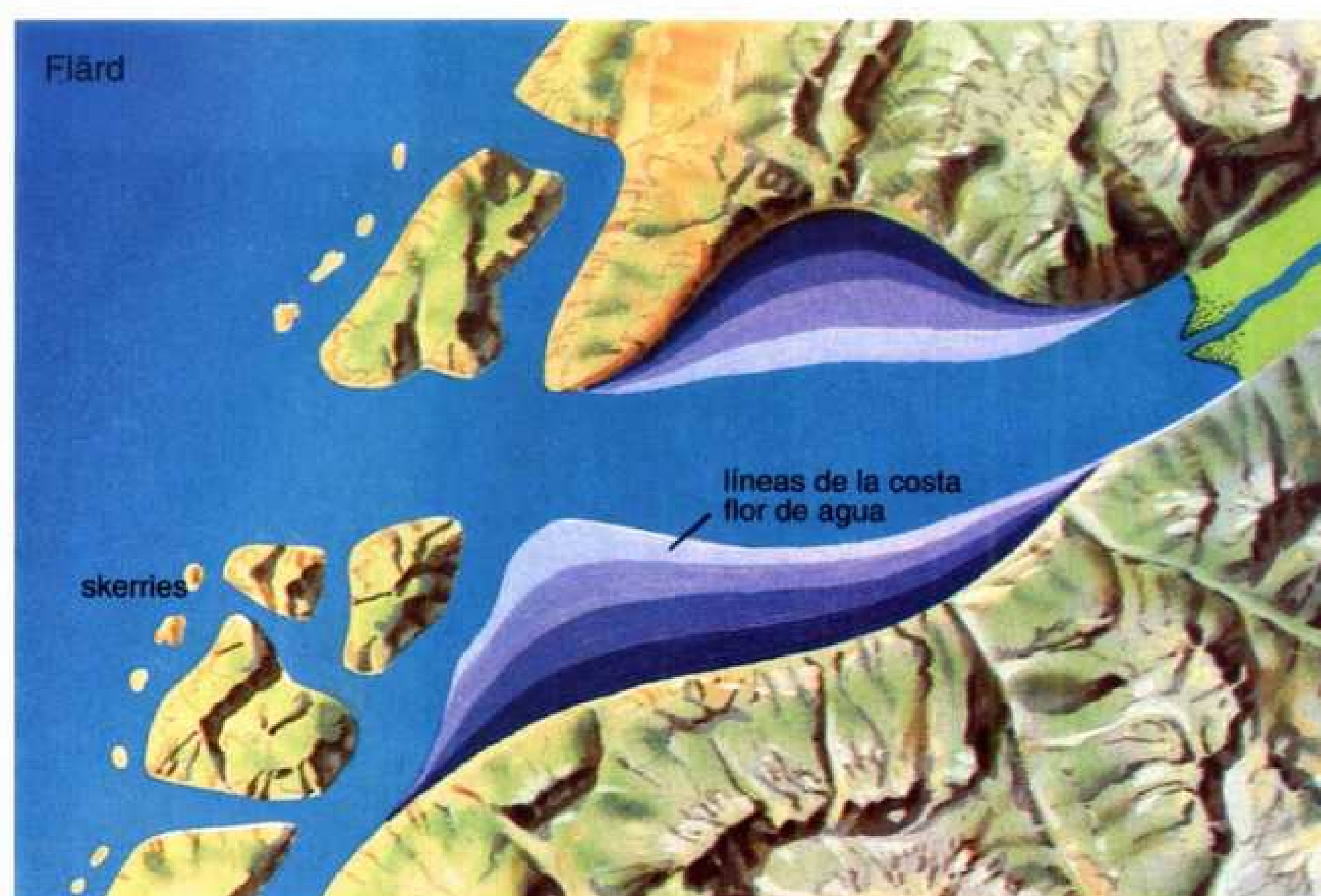
— *Estuario en forma de frasco:* Llamado a veces «estuario con barrera», es muy semejante al anterior, pero en general más pequeño; de hecho, el movimiento progresivo a lo largo de la costa de la arena de la playa ha formado una o más lenguas que cierran parcialmente la entrada. Conocidos estuarios de este tipo son el del Trinity River, en Texas, y el del Mobile River, en Alabama.

— *Estuario ciego:* Análogo a los dos anteriores, está sometido, no obstante, a in-

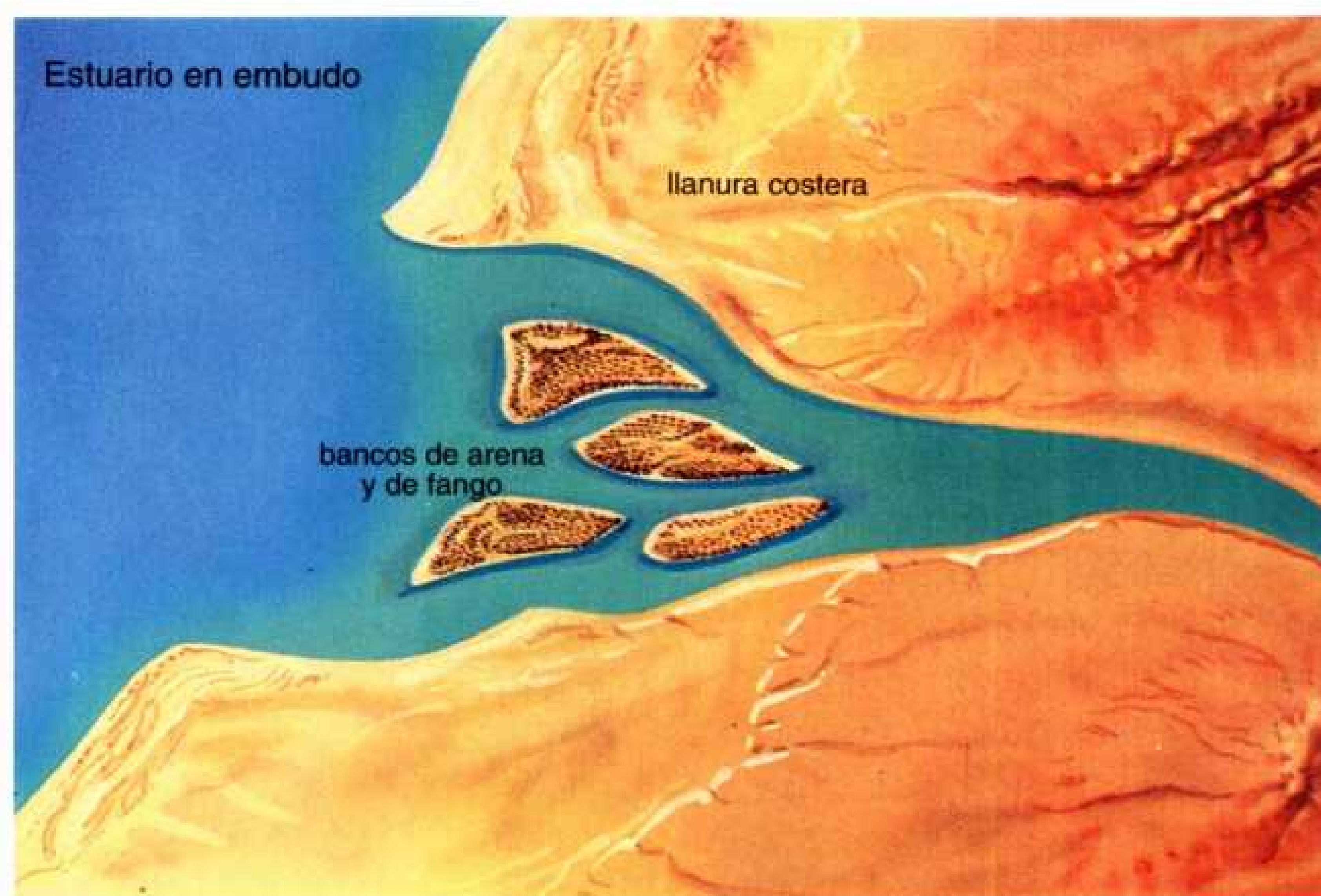


Un ambiente dinámico. *Los ríos vierten continuamente agua dulce en el mar. En algunos tipos de estuario, especialmente en el de forma de embudo, se produce tal mezcla de agua dulce y agua salada que hace muy incierto el límite entre río y mar. El mezclado de las aguas está influido también por la acción de las mareas que, en algunos casos, remontan los cursos fluviales. Los factores analizados revelan el dinamismo del hábitat de estuario: determina las notables capacidades de adaptación de las formas animales que lo pueblan, influyendo en su comportamiento, que en estas condiciones ambientales es siempre un factor de supervivencia. En los dibujos de la página siguiente aparecen representados los tipos fundamentales de estuario con sus características. Aquí a la izquierda, una vista del estuario del río Sanaga.*

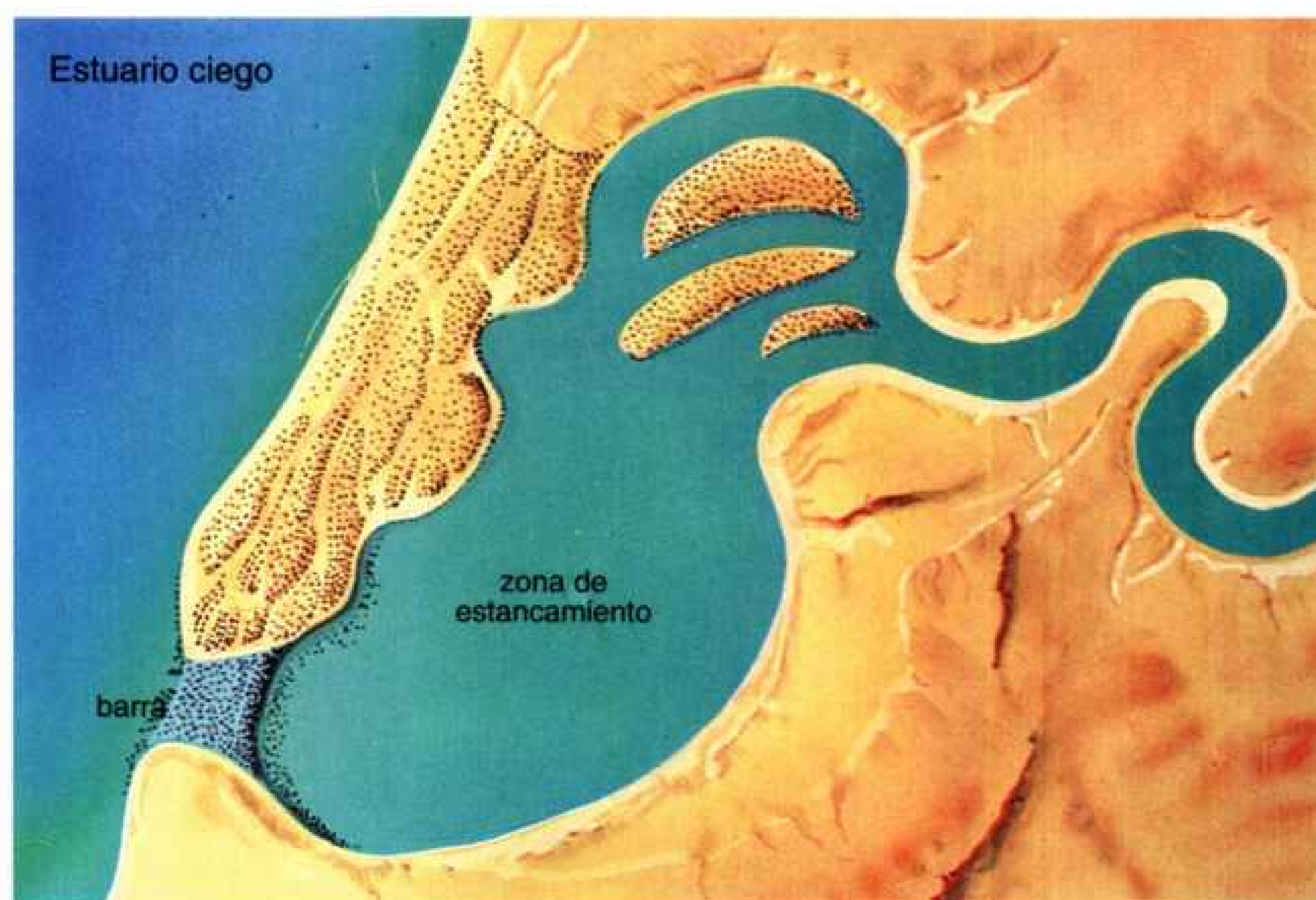

Fiordo
delta en
miniatura

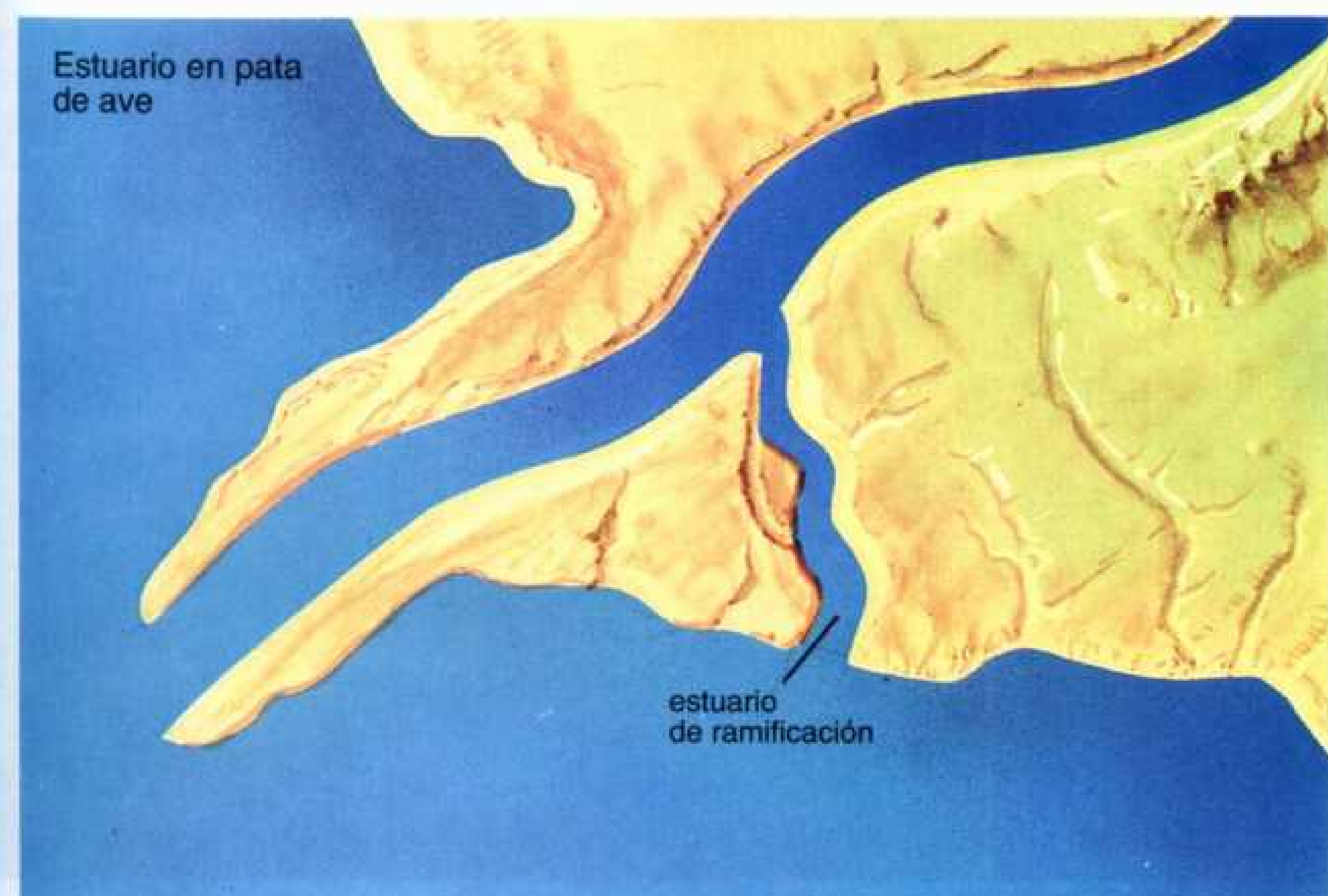

Flärd
líneas de la costa
flor de agua
skerries

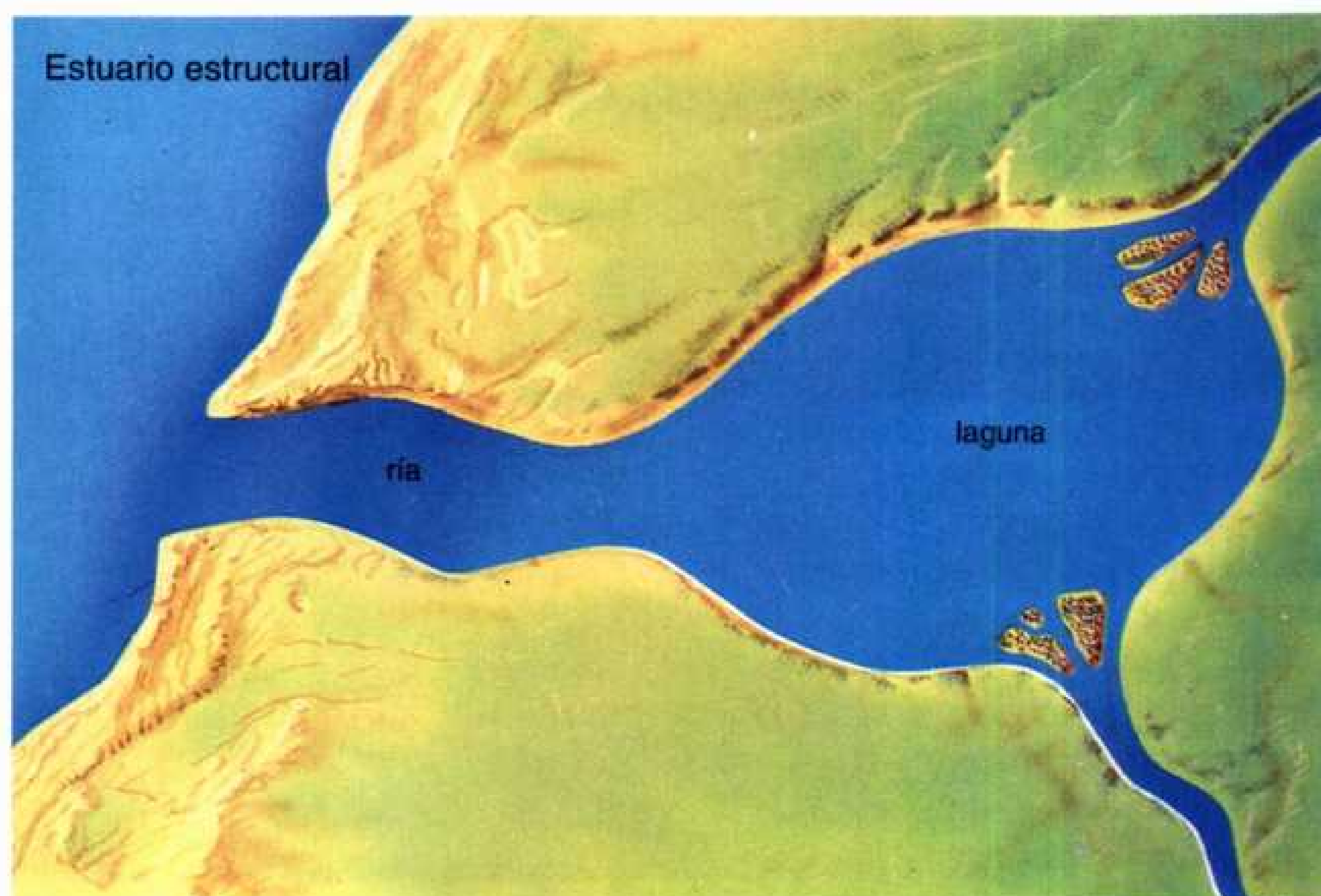

Ría


Estuario en embudo
llanura costera
bancos de arena
y de fango


Estuario en forma
de frasco
lengua
de tierra


Estuario ciego
zona de
estancamiento
barra


Estuario en pata
de ave
estuario
de ramificación


Estuario estructural
ría
laguna

terrupciones efímeras o estacionales de alcance fluvial, típicas de las regiones subtropicales. El movimiento de la arena a lo largo de la costa hace que, correspondiendo a una barra poco profunda, se forme una lengua de arena, que acaba por cerrar la desembocadura del estuario, aislando el cuerpo hídrico en el que se observa eutrofización, muerte de peces y acumulación de fangos negros. Este tipo de estuario se observa en Baja California, en el Africa sahariana y en la Australia occidental.

— *Estuario en pata de ave:* Típico de delta con escarpada pendiente hacia el mar y en el que la energía del caudal fluvial y la cantidad de los sedimentos superan en gran medida la capacidad de las olas y de las corrientes de marea para transportar tales sedimentos lejos o para crear barreras a lo largo de la costa. Algunos deltas anchos forman estuarios de ramificación «interdélticos». Los ejemplos más conocidos son el estuario del Mississippi y los del mar de Java (entre ellos, el estuario de Bengawan-Solo).

— *Estuario estructural:* Tipo especial de estuario, controlado por estructuras geológicas, en el que el trayecto inferior es una ría (dominada por una cresta rocosa resistente), mientras los trayectos medio y superior se expanden en la conformación en frasco, donde se encuentra una llanura interior. Ejemplos: el estuario del Tajo y el del Swan River, en Australia.



Imágenes desde satélite. *Aquí arriba aparecen las bocas del Ródano en una fotografía tomada desde el Skylab III; se observan, en particular, los puertos de Marsella y de Tolón. En la imagen grande, a la derecha, es visible un fragmento de costa de la América septentrional, en Maryland, zona interesante por el encuentro de cursos de agua dulce con el océano Atlántico.*







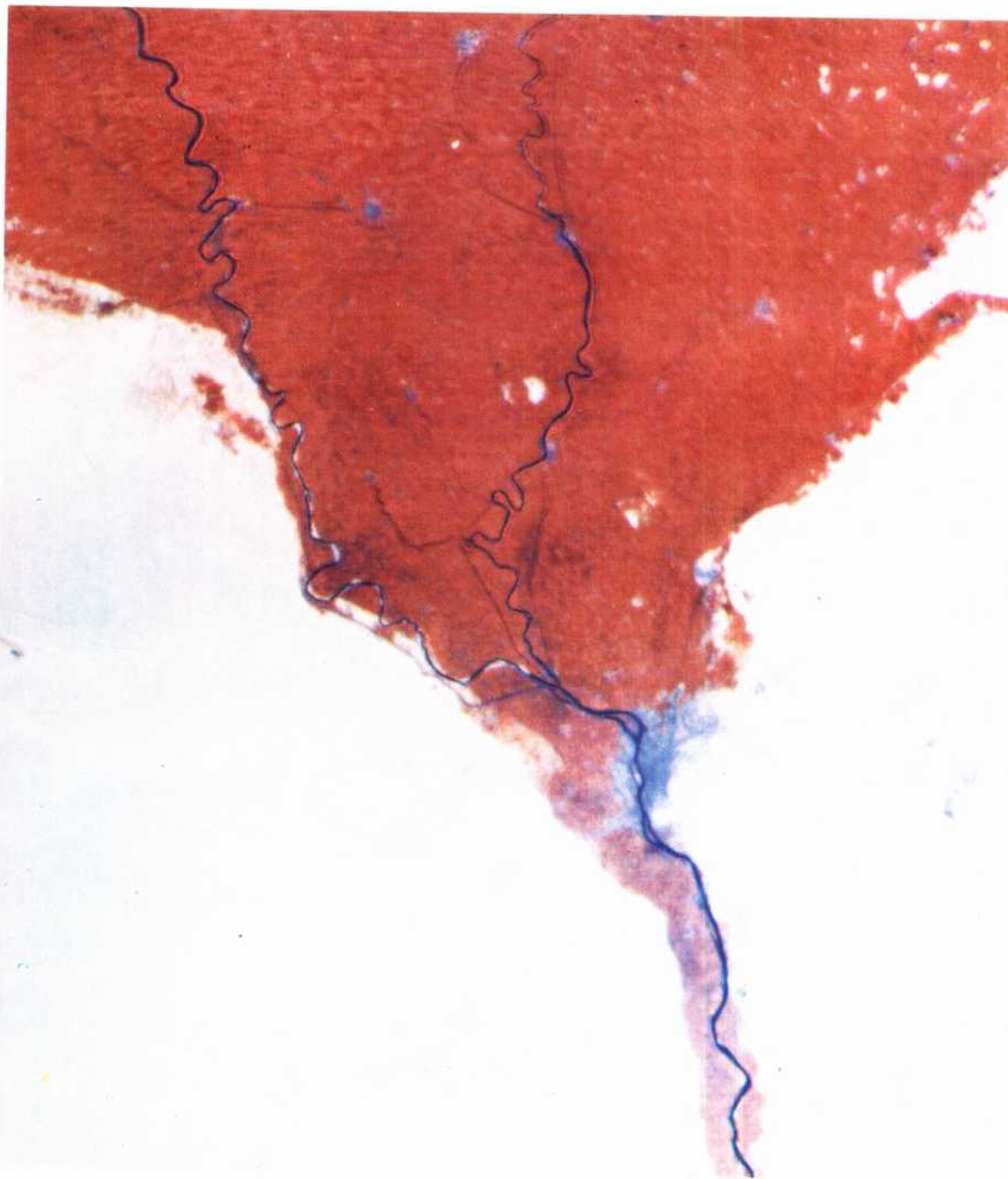
El aporte fluvial. *En las imágenes de esta página: arriba, estuario de un río de Panamá; la foto muestra la particular coloración rojiza debida al acarreo de tierra transportada por el río. El mismo fenómeno se observa también en la foto de la izquierda en el estuario del Río de la Plata (Uruguay). En el centro, el Sognefiord (Noruega); el fiordo, un antiguo valle glaciar inundado luego por el mar, es una huella visible de las grandes glaciaciones.*

El ambiente del delta

UN delta se forma allí donde un curso de agua de flujo rápido penetra en un cuerpo de agua en calma, como puede ser el mar. Si la cantidad de sedimentos y la velocidad del flujo son relativamente bajas en relación con las dimensiones del estuario, dentro de este último los sedimentos forman bancos de arena y de fango. En casos extremos, el delta puede estar situado en el interior, correspondiendo a la cabeza del estuario. En otros casos, en el transcurso de millones de años se han ido acumulando los sedimentos del delta, colmando lentamente el estuario. El proceso de formación de los sedimentos en un delta se ve a menudo modificado por los efectos del oleaje o de las corrientes a él asociadas, y por la acción de las mareas. Las formas ramificadas de los subdeltas del Mississippi se forman sólo en un ambiente afectado por una débil acción de las olas; en zonas caracterizadas por una acción de las olas muy enérgica puede ser imposible la edificación de un delta sobresaliente, como ocurre por ejemplo a lo largo de la costa sudoriental de Australia, en las bocas del río Shoahaven.

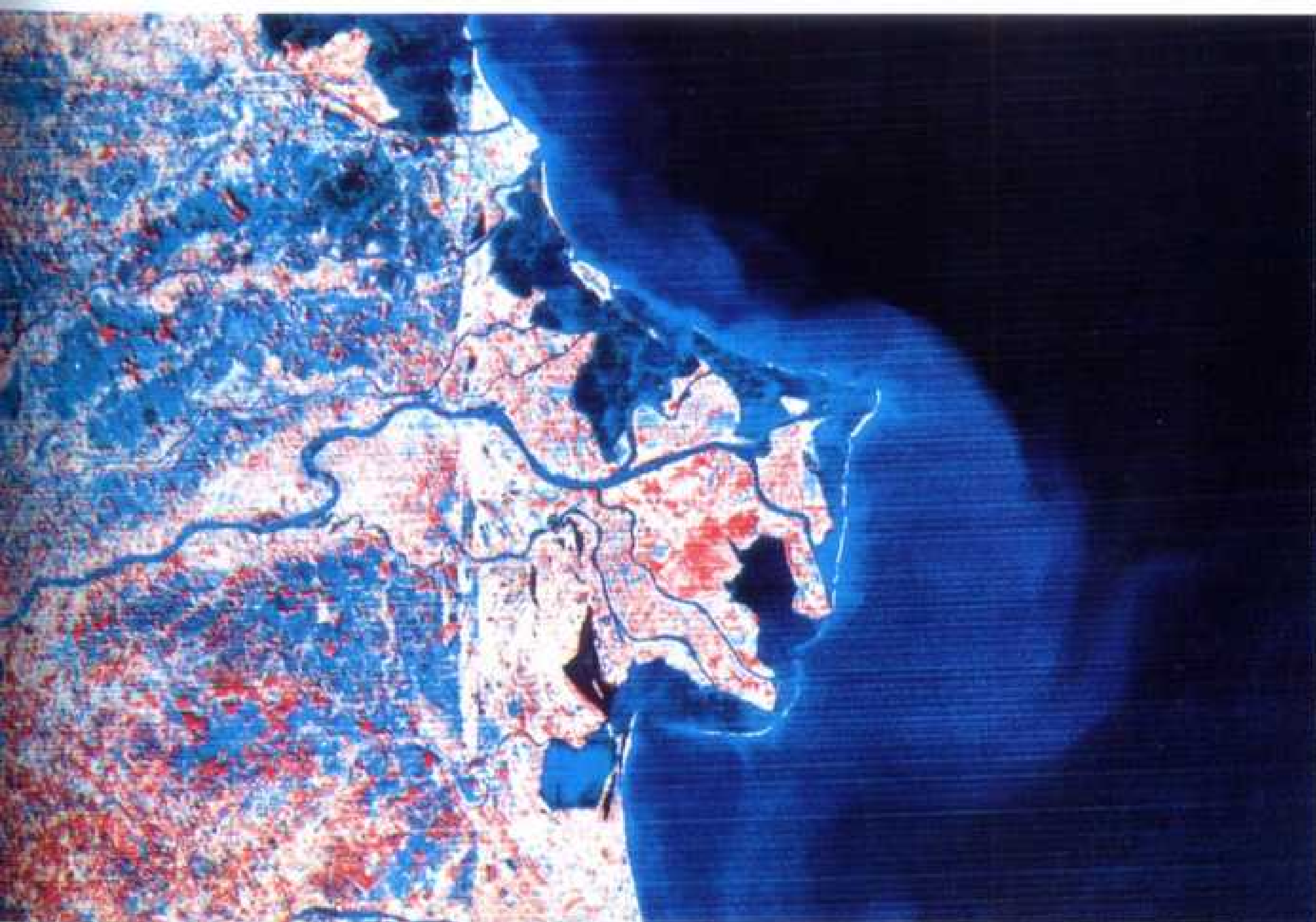
Se dice que «el delta es enemigo del estuario». En efecto, sus fangos y arenas llenan simplemente el canal hasta que se forma un valle aluvional, a menudo muy fértil, y el río acaba por verter directamente a mar abierto. Basándose en estudios experimentales, hoy se consideran cuatro posibles alternativas de deltas:

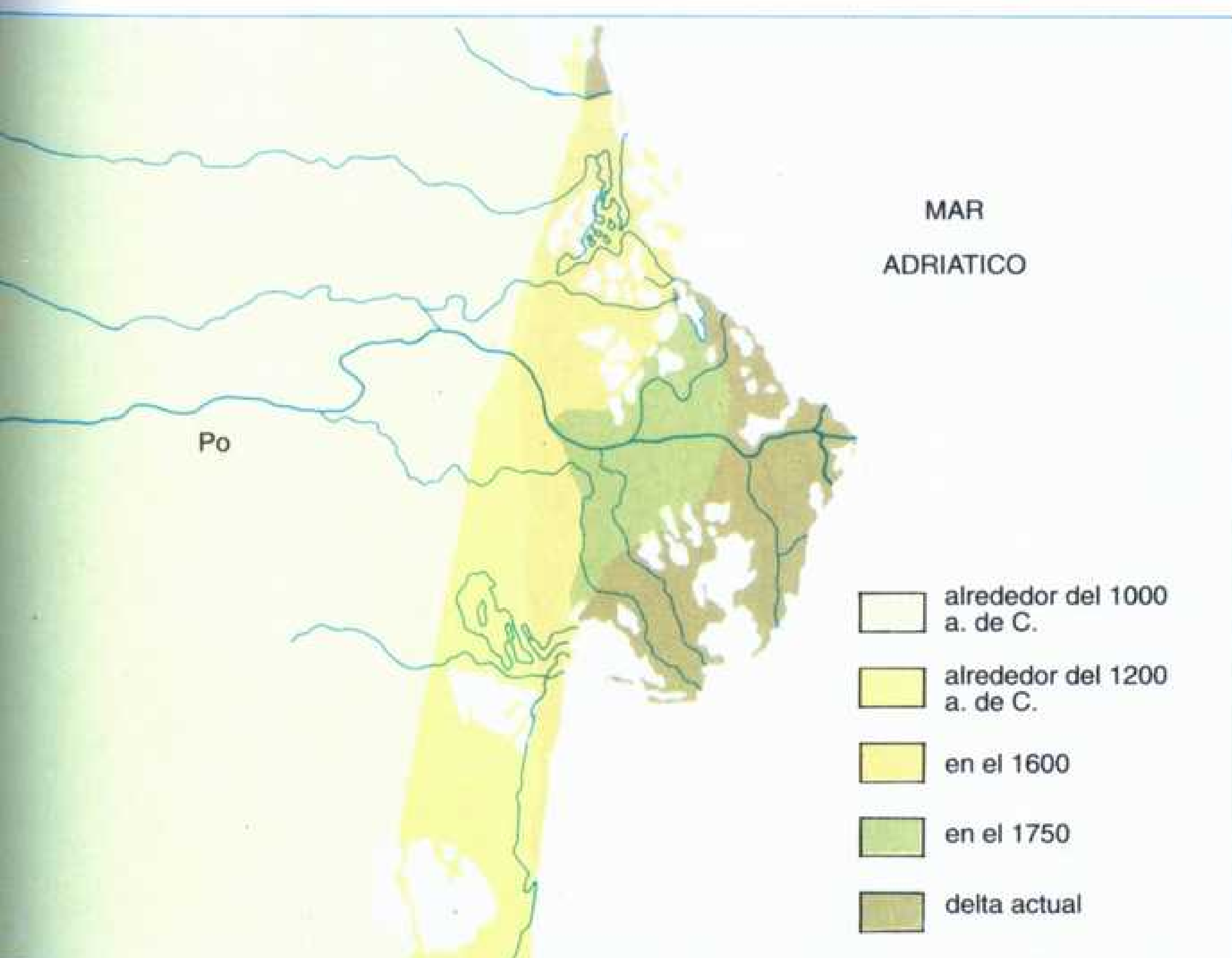
Delta submarino: Originado por un fuerte flujo y por una gran cantidad de sedimentos, se crea frente a la costa y tiene forma de abanico, disponiéndose los sedimentos en tres formas estructurales: «de fondo», los estratos precursores de la plataforma continental; «de frente o anteriores», los estratos correspondiendo al frente del delta, que se dirigen rápidamente hacia las profundidades; «de techo», aquellos estratos casi horizontales, que se forman cerca de la superficie. Normalmente no se pueden ver los deltas de perfil, pero frecuentementre los deltas formados en pequeños lagos posglaciales son excavados para extraer arena y entonces se les puede estudiar en sus particularidades. Un delta submarino se forma correspondiendo a los puntos de ingreso, poco profundos, en las lagunas.





Los sedimentos transportados por los ríos. *Cuando la acción del mar no lleva a cabo una eficaz distribución de los sedimentos transportados por un río en sus bocas, éstos se acumulan y dan origen a un delta. En esta página: arriba, el delta del Nilo; aquí al lado, las bocas del Zambeze. En la página siguiente: arriba, a la derecha, el delta del Paraná; abajo, el del Colorado.*







***El Po.** Aunque no tiene el caudal de agua de los mayores ríos del mundo, el Po transporta tan gran cantidad de sedimentos que, en pocos miles de años, ha construido un delta con una extensión superior a la del delta del Nilo. En la fotografía y el dibujo de la izquierda se observa la progresiva acumulación de sedimentos que han producido los estadios de avance del delta del Po en su desembocadura en el mar Adriático. En este proceso es determinante la erosión de los materiales sólidos de la cuenca del río debida a naturales movimientos tectónicos de asentamiento y también a la intensa actividad extractiva (grava y arena) ejercida por el hombre, a las obras de encauzamiento, desmonte y explotación excesiva de los recursos hídricos.*

Delta compuesto: Se constituye frente a la costa, como el clásico delta del Nilo, subdividiéndose con frecuencia en numerosos subdeltas. El ambiente «de techo» se crea sólo con material aluvional durante excepcionales inundaciones por parte del río y puede convertirse en un ambiente totalmente terrestre.

Barra en media luna: Se forma en los casos en los que la cantidad de sedimento basta para constituir un delta, la acción de las olas y las corrientes redistribuyen este sedimento, mientras el caudal del río logra formar una barrera en herradura o en media luna. Un buen ejemplo de este tipo lo constituye el Golden Gate de San Francisco.

Deltas cuspidados, arqueados o en pata de ave: Se forman en aquellos casos en que la cantidad de sedimentos es relativamente elevada respecto de la energía de las olas y de las corrientes disponibles para «removerlos». Se encuentran ejemplos en las regiones en las que la amplitud de las mareas es pequeña y limitada la acción de las olas (golfos o lagunas amplias).



Barreras de delta y de laguna



Al observador ocasional, el delta le parece un área llana; cuando en realidad existen en él significativos relieves y depresiones que tienden a crear lagunas y canales. Ante todo están las márgenes que marcan los bordes de los canales. Cuando el río no es contenido por una obra de ingeniería, las inundaciones estacionales representan un período en el que éste desborda las márgenes originales y deposita sedimentos heterogéneos a ambos lados mientras disminuye la velocidad de su flujo. Esta franja de sedimentos se espesa gradualmente y origina una especie de cresta baja, un borde: los del Mississippi son ejemplos sorprendentes de ello. En los tiempos modernos se han elevado artificialmente, pero incluso en estado natural constituyeron el primer hábitat para el hombre, así como para otros animales: mamíferos, reptiles y aves. En su parte inferior viven también innumerables cangrejos, lamelibranquios perforadores y otras criaturas.

La historia de las fluctuaciones del nivel del mar en los últimos 6.000 años indica que, cuando dicho nivel desciende, los canales interrumpen la comunicación con el mar y el delta avanza hacia el mar mismo, es decir, se agranda. Cuando en esta región llana el nivel del mar sube, el curso inferior del canal retrocede y la costa puede hacer lo mismo muchos kilómetros. Con frecuencia se forma un nuevo canal de distribución y, por tanto, una nueva serie de márgenes. Consecuentemente, el delta da origen a una irradiación de márgenes.

A lo largo del margen externo del delta, las olas forman una playa, abundante a menudo en dunas y que la vegetación estabiliza. Más hacia dentro se encuentran, en forma de bandas paralelas, las playas más antiguas, correspondientes a fases en las que el nivel del mar estaba más alto. En Louisiana se las conoce con el término francés *cheniers,* encinares, porque proliferan allí las encinas. De esta manera, la superficie del delta se segmenta en relieves de arena, que separan a las bajas zonas lagunares, donde se encuentran





La formación de lagunas en los deltas. *En el interior de algunas estructuras deltaicas se forman playas dispuestas en bandas paralelas como testimonio de una época en la que el nivel de las aguas marinas estaba más elevado. El área del delta se caracteriza por depresiones y relieves que aíslan canales y lagunas cuyos bordes están señalados por diques. Cuando en esta región se eleva el nivel del mar, se forman nuevos canales y, por tanto, otros diques dispuestos en rayos. En la página anterior, una playa en la bahía de Hudson que ha experimentado una elevación debida al efecto isostático. Arriba, pantano salado durante la bajamar; abajo, a la izquierda, laguna formada a lo largo de una costa sumergida y, a la derecha, pantano con* Pucchinellia.

pantanos al descubierto y áreas cubiertas de una densa vegetación, cerca del nivel de la marea alta primaveral. Estos pantanos y cenagales tienen una productividad extaordinariamente elevada. La vegetación palustre se apelmaza gradualmente y forma la turba. En el delta del Mississippi, la perforación de los pozos de petróleo nos ofrece un elocuente ejemplo de desarrollo histórico. Dado que el delta se hunde un milímetro al año o más, un ciclo de formación se añade a otro; la datación de los estratos de turba, llevada a cabo por el carbono radiactivo, documenta los bajos estadios en la historia del nivel del mar correspondiente a este delta.





Las lagunas

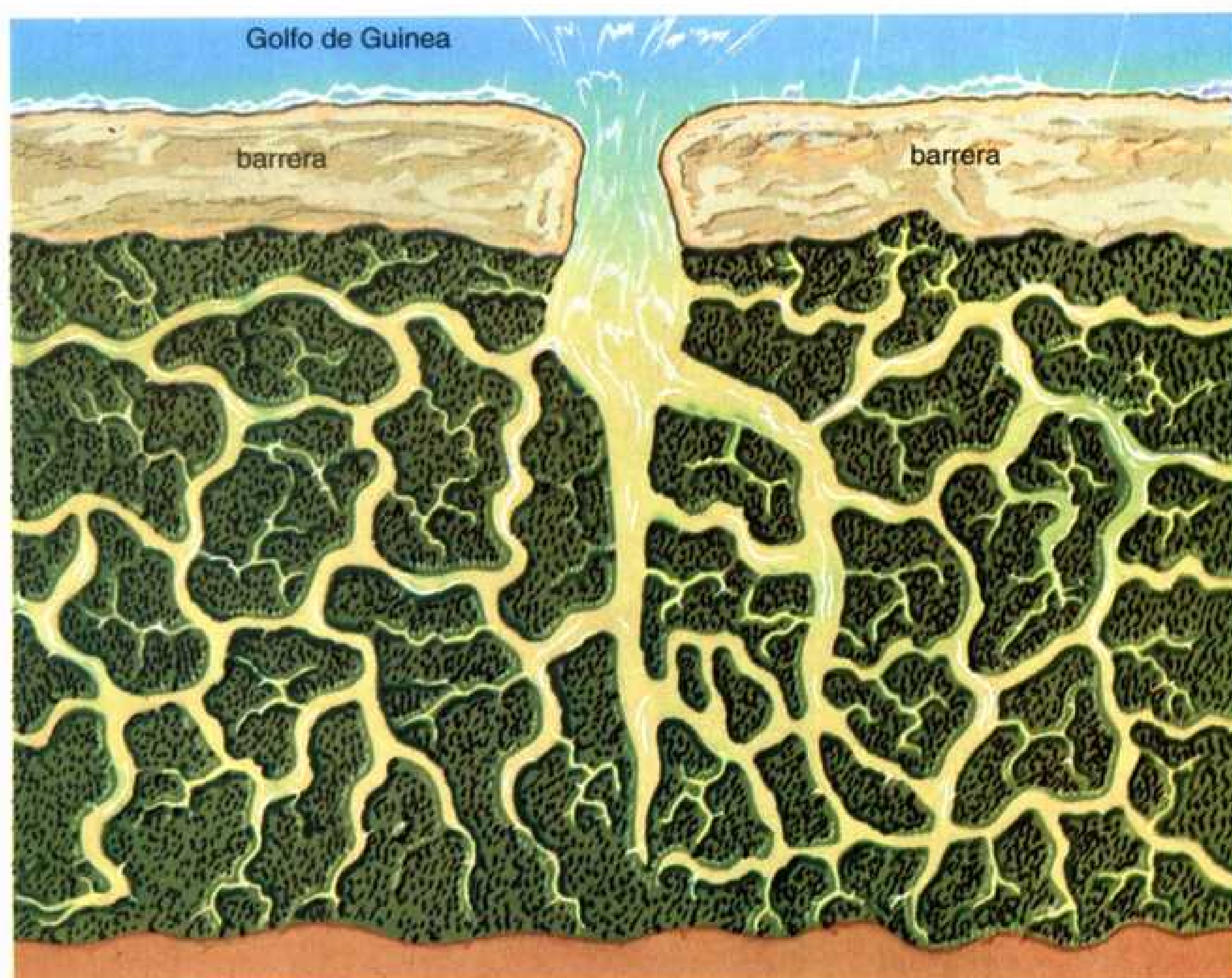
La intensa acción de las olas hace sentir sus efectos sobre las playas, provocando a lo largo de la orilla desplazamientos de arena, que pueden alcanzar cada año valores entre 200.000 y 500.000 toneladas. Las playas y las lenguas de arena forman gradualmente barreras que aíslan valles más pequeños, mientras cursos de agua más amplios con estuarios mantienen desembocaduras en el mar correspondiendo a las barreras en la playa.
En regiones de humedad elevada, las lagunas, aun manteniéndose salobres, conservan en general una buena circulación con elevada productividad biológica. Con frecuencia, las barreras constituidas por sucesivas posiciones alcanzadas por el nivel del mar con marea alta (distantes entre sí 1.000 años) dan origen a relieves subparalelos, entre los cuales se sitúan largas franjas palustres. El viento produce de forma especial un efecto dinámico hacia arriba y hacia abajo, que da lugar a la formación de lenguas de arena transversales y, a la postre, un cierre por parte de lagos y lagunas de forma ovoidal. En los Estados Unidos sudorientales se las conoce con el nombre de *Carolina bays;* pero también se encuentran en el Africa occidental, en Australia y en torno del mar Negro.
El gradual colmatado de las lagunas se realiza mediante tres procesos: depósito de arena procedente de la playa (y dispersada, a través de las barreras, cuando hay tormenta), de fangos aluvionales procedentes de tierra adentro, de detritos orgánicos, principalmente turba (formada sobre todo por plantas de *Phragmites* y de *Spartina),* acumulados en las extensiones fangosas. Correspondiendo a las brechas semipermanentes que se encuentran entre las islas que forman las barreras, se observan curiosos deltas de marea en ambos sentidos. Se trata de deltas submarinos, que se forman con el reflujo y, más en el interior de la laguna, con el flujo; este último tiene en general el más amplio desarrollo.
En las lagunas donde abundan los sedimentos se forman amplias extensiones fangosas. La arena se deposita cerca de las pequeñas ensenadas, mientras que el barro fino es transportado hasta las posiciones más elevadas que alcanza la marea. Es lo contrario de lo que sucede del lado del mar abierto, donde la arena es transportada por la marea hacia alta mar; en cambio, frente a la costa se forma un fondo lodoso. Estas lagunas fangosas son típicas de aquellos lugares que tienen una notable amplitud de marea, como ocurre, por ejemplo, alrededor de la parte meridional del mar del Norte, tras una barrera de islas, las Frisonas, que se extiende desde Holanda hasta la Alemania septentrional y la Dinamarca occidental.
También en los trópicos, particularmente en el Africa occidental y en el Asia sudoriental, se observan similares lagunas fangosas. Contrariamente a los *wadden,* es-











En el delta del Níger. A la derecha se esquematiza la intrincada estructura de canales que se encuentran en la llanura cotidal del río Níger. La mayor parte de esta zona está inundada por la marea y delimitada por un sistema de barreras hacia la desembocadura en el golfo de Guinea. En las fotografías de la izquierda y abajo se ve cómo el delta del Níger se caracteriza por el asentamiento de una densa vegetación. Arriba: cocodrilos, habitantes de las bocas de los ríos tropicales.





tán cubiertas de vegetación, esto es, de alófitas arbóreas, pertenecientes a las asociaciones de mangles. Resulta interesante el hecho de que, en ambos ambientes, la disposición de los canales de marea es muy diferente. Los canales de los *wadden* son dendríticos, como las ramas de un árbol, y se hacen cada vez más anchos a medida que se acercan al mar. Y esto porque son en gran parte canales de erosión, recorridos velozmente por el reflujo de la marea, con curvas serpenteantes, que se hacen cada vez más amplias como radio en dirección del mar. En el caso de los canales bordeados por vegetación de manglares se dan análogos meandros, pero también se observan numerosos bloques y canales transversales, razón por la cual se forma una auténtica red de canales. Todo ello se debe al hecho de que el desarrollo de los manglares frena el curso normal de las corrientes de marea y las torrenciales lluvias provocan frecuentes y generales anegamientos.

En las zonas subtropicales, en regiones que tienen grandes temporadas sin lluvia, las lagunas tienden a caracterizarse por una hipersalinidad, predominando la evaporación. Factor importante es el efímero flujo de los ríos. Cuando en el interior de un país llueve pocos meses al año, es evidente que los ríos sólo temporalmente contarán con agua, y cuando su caudal disminuye, la costa acabará por cerrar la entrada al estuario con una franja de arena.

En algunas localidades, esta franja se mantiene expedita mediante dragas, pero allí donde logra encerrar una laguna, en ésta y en el estuario se observa una rápida eutrofización. Si a ello se añade la evaporación, una capa de fango negro, abundante en ácido sulfhídrico, se situará bajo otro estrato de fango de caliza blanca precipitada, probablemente de yeso e incluso de sal. Como consecuencia de esta situación, la población de la laguna experimenta rápidos cambios. Tras la temporada de lluvias, en la Australia noroccidental se observa a veces una extraña lucha por la supervivencia. Tiburones y otros peces pelágicos que han penetrado en el estuario se quedan aislados por las barreras de arena; la depredación llega entonces a su punto culminante y dura en tanto en cuanto sólo perduran los ejemplares de mayores dimensiones. A medida que disminuye el agua de los ríos y desciende el nivel del agua, los cocodrilos, con lentos movimientos, capturan los peces y los pequeños mamíferos que logran atrapar. Al final sólo quedan pozas de aguas poco profundas donde escualos y cocodrilos entablan feroz batalla para sobrevivir. Inútil decir que, a la postre, vencen los reptiles acorazados de vida anfibia.

La química de los estuarios

Los estuarios y las lagunas pueden ser de agua dulce, o bien salobre, salados como el agua del mar, o hipersalados. En algunas regiones, en la fase de aislamiento, las lagunas pueden volverse «caspio-salobres», es decir, en sus aguas pueden predominar los sulfatos, como en las del mar Caspio.
Cuando tiene que analizar el agua de mar normal, el químico puede determinar rápidamente su contenido en cloro y, con este cálculo, determinar a su vez todas las restantes sales en disolución, dado que las sales marinas están siempre en la misma relación. En el caso de los estuarios y de las lagunas, esto no vale, y se deben efectuar generalmente cálculos partiendo de mediciones de conductibilidad y de densidad.
Las aguas de mares y ríos contienen componentes disueltos, pero su concentración



La vegetación de las lagunas. *En muchas lagunas, la vegetación reviste particular importancia desde el punto de vista de su composición química. En las lagunas del Africa occidental, el bosque pluvial influye en la acidez de las aguas con los ácidos del humus y el anhídrido carbónico; se observa también la presencia de ácido tánico producido por los mangles en las zonas fangosas (aquí, a la izquierda, y abajo, a la derecha). Fotografía de abajo a la izquierda, un pantano con* Spartina townsendi.





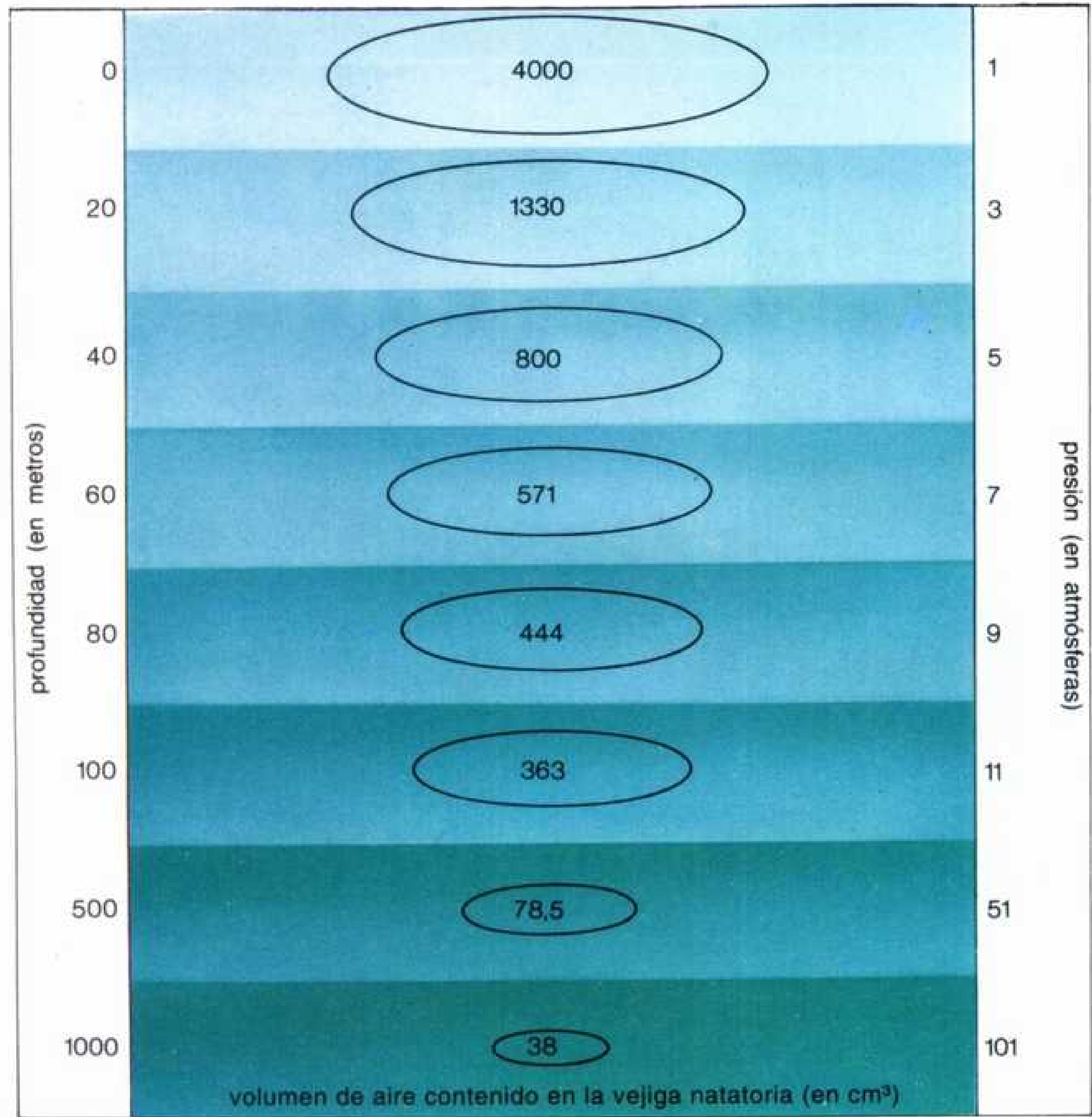
varía grandemente. En el mar están presentes el 55 por 100 de iones cloro, el 30 por 100 de iones sodio, el 7,6 por 100 de iones sulfato, el 3,7 de iones magnesio y el uno por 100 tanto de calcio como de potasio. Por el contrario, en el agua de un río se encuentran por término medio el 35 por 100 de iones carbonato, el 20 por 100 de iones calcio, el 12 de iones sulfato, el 11,6 de sílice (bióxido de silicio), el 5,6 por 100 de cloro y cantidades menores de sodio, magnesio, potasio y hierro. La diferencia es notable.
En cierta medida, los ríos «reciclan» las sales marinas. Gotitas de agua de mar son transportadas tierra adentro con las nubes y caen en forma de lluvia, por lo que una parte del agua de un río contiene esta «sal cíclica».
La mayor parte de las sales disueltas proceden de la erosión del subsuelo, en el que las rocas se disgregan lentamente por influencia de ácidos generados sobre todo por las bacterias que viven en la vegetación en descomposición. En tanto el material rocoso que constituye el lecho de toda cuenca fluvial de drenaje muestre notables variaciones, hay que esperar que también las aguas del río tengan una composición muy variable. El hecho de que la región sea semiárida, cubierta por una vegetación arbórea o montañosa, produce también una notable diferencia.
Mientras las aguas del río encuentran en los estuarios el agua salada de la marea ascendente, la diferencia de densidad entre ambas aguas (el agua dulce es más ligera) aumenta en general por sus diversas temperaturas (el agua de mar es más fría), por lo que debajo del agua dulce se desarrolla una «cuña» de agua salada.
En ciertos casos, como en las latitudes elevadas de invierno, el agua del río está más fría que el agua de mar y de ello resulta que se mezclan rápidamente por fenómenos de turbulencia. En las lagunas hipersaladas, el agua salada densa tiende a fluir bajo la marea que remonta y que tiene una salinidad normal; este tipo de circulación se define como «antiestuario». En las partes interiores más aisladas de las lagunas, se desarrollan salinidades muy elevadas y, en condiciones de elevada insolación, las temperaturas del agua pueden llegar a los 35-40 °C. El agua salada amplifica el efecto de recalentamiento solar; así, en las pozas aisladas la temperatura del fondo aumenta, fomentando la precipitación de sales raras. El aislamiento en zonas húmedas a temperatura elevada da lugar a condiciones euxínicas, es decir, a un mar Negro en miniatura. Ejemplos de este fenómeno se observan en el Africa occidental.
Mientras en algunas lagunas de Texas, sometidas a evaporación, se registra una elevada alcalinidad, el bosque pluvial tropical que se encuentra a espaldas de las lagunas del Africa occidental proporciona aguas de elevada acidez debida a los ácidos del humus y al anhídrido carbónico, a los que se añade el ácido tánico procedente de los pantanos de manglares. En los fangos, el ácido sulfhídrico liberado por las bacterias que reducen los sulfatos bajará la acidez a valores inferiores. La acidez de los fangos bajo la vegetación de mangles se puede comprobar observando las conchas de los moluscos muertos, que se corroen rápidamente, mientras, por otra parte, cuando un manglar coloniza una auténtica barrera coralina, sus sistemas de raíces disuelven el carbonato de calcio de que está constituida.

El reino de los abismos

El paisaje abisal

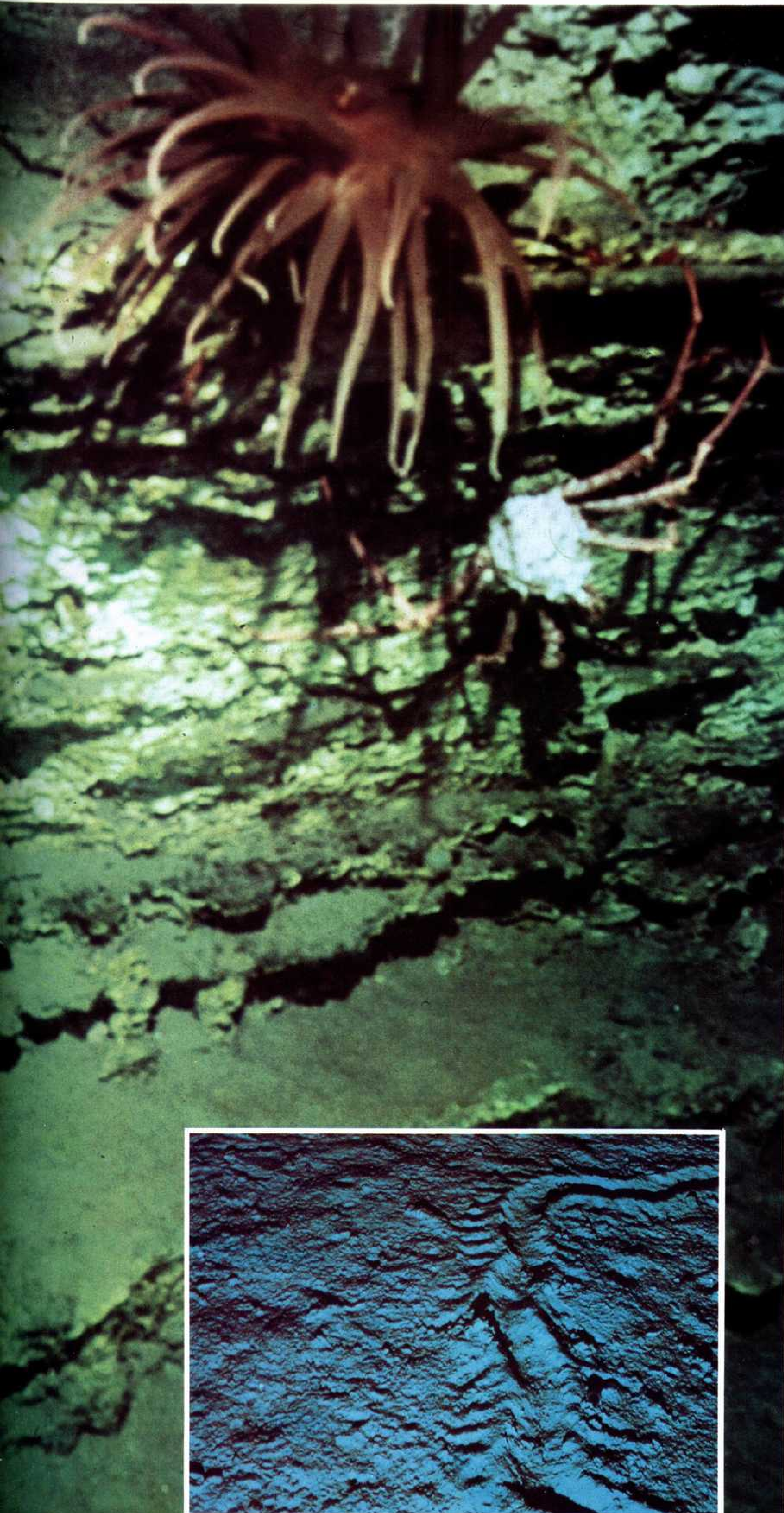
BAJO el mar, a pesar de la monotonía de las grandes llanuras abisales, el paisaje es tan variado y cambiante como en los continentes. Cuando se sale de la plataforma continental, y se mete uno, por ejemplo, por uno de esos cañones que cortan el talud continental y descienden abruptamente hacia los grandes fondos, se observan los más diversos panoramas. Acá y allá, austeras paredes rocosas, apenas cortadas por plataformas donde se refugia la vida, parecen querer aplastar al observador. Mas adelante, sucesiones de salientes más suaves se hunden hacia las tinieblas. Acá y allá, gigantescas cascadas de sedimentos se deslizan incesantemente hacia el suelo oceánico. A partir de los 200 metros de profundidad (e incluso bastante antes en la mayoría de los mares), todo es oscuro. La temperatura del agua disminuye desde la superficie, y desde los 500 a 700 metros de profundidad se estabiliza en torno a los 2 ó 3 °C. Las corrientes de fondo, cuando existen, son mucho menos rápidas que las de la parte superficial. A veces consisten en majestuosas translaciones, muy lentas y casi imperceptibles, de gigantescas masas de agua. El oxígeno, a medida que se desciende, se hace también más escaso, y las sales disueltas (fosfatos, carbonatos, silicatos), aunque no





Rastros de vida. Un talud continental abrupto separa la plataforma continental de las grandes planicies abisales. Las paredes son barridas por aludes de sedimentos (arriba); de ellas cuelgan raros animales (al lado, a la derecha: una actinia y un picnogónido). En las llanuras abisales se descubren extrañas huellas (recuadro, en la página siguiente). El aumento de la presión impone a los animales difíciles adaptaciones. El esquema gráfico de aquí, a la izquierda, muestra las variaciones del volumen de aire (en centímetros cúbicos) contenido en la vejiga natatoria de un pez que se sumerge gradualmente.





faltan, son recicladas más lentamente por los seres vivos.

Estos últimos deben enfrentarse a condiciones ecológicas sumamente duras. Falta comida, pues no tienen plantas verdes que sirvan de base a su pirámide trófica; deben contentarse con partículas orgánicas y cadáveres que caen desde las capas superficiales del mar, y que las bacterias descomponen y reciclan. Deben además afrontar los efectos de las altas presiones: descendiendo, cada 10 metros su cuerpo se ve sometido a una atmósfera más; a 2.000 metros, la presión alcanza las 200 atmósferas, y a 5.000 metros, las 500 atmósferas. Si a estas limitaciones se añaden las que resultan de la baja temperatura, poco propicia para una explosión de vida, se comprende que la densidad de los organismos sea cada vez más débil a medida que se baja. En la zona de transición situada entre 500 y 2.000 metros, por ejemplo, donde predominan las esponjas silíceas, las gorgonias, los lirios de mar, las plumas de mar y las ascidias (zona que abarca un 5 por 100 aproximadamente de la superficie total de los fondos), se advierte que la biomasa escasea: pasa de 100 gramos por metro cuadrado a 500 metros a 10 gramos por metro cuadrado a 2.000 metros. Más abajo no cesa de disminuir.

Los ecólogos han dividido los grandes fondos en varias zonas. Por debajo de los 200 metros, es decir, después de la plataforma continental, comienza la zona batial, que llega hasta los 2.000 metros, y que se subdivide en tres subzonas: epibatial (200-500 metros), mesobatial (500-1.000 metros) e infrabatial (1.000-2.000 metros).

La zona abisal propiamente dicha se extiende entre los 2.000 y los 6.000 metros de profundidad: comprende el conjunto de las inmensas planicies de los grandes océanos, sobre las que se levantan picachos rocosos, y por donde corren las fallas y los relieves volcánicos de la dorsal medio-oceánica.

Los fondos abisales constituyen, con mucho, la mayor parte del suelo del océano mundial. Su productividad biológica es sumamente débil: del orden de sólo 0,1 gramos por metro cuadrado a 5.000 metros de profundidad. Finalmente, zona hadal —por referencia al Hades, el infierno de los antiguos griegos— es el nombre reservado a las fosas oceánicas más vertiginosas, que descienden hasta más de 6.000 metros (y que en las proximidades de Filipinas y de las Marianas alcanzan los 11.000 metros).

Las condiciones ecológicas que imperan siempre en estas zanjas tenebrosas, y casi aisladas del resto de la biosfera, son espantosas. A pesar de ello, también triunfa la vida: algunas decenas de especies han sabido adaptarse.

Los sedimentos de los fondos

Los fondos marinos están desigualmente cubiertos de sedimentos, los cuales son de orígenes diversos. Se llama terrígena a la gran masa porque procede de la tierra: son los cascajos, las arenas y las arcillas acarreadas por los ríos; se difunden a veces muy lejos de las desembocaduras, a merced de las corrientes. Muy ricas en partículas orgánicas y en sales minerales, constituyen el medio más favorable para la eclosión de la vida en los abismos. Por lo demás, al pasar sobre la plataforma continental, se les agregan múltiples briznas de plantas y de animales marinos: frústulos de diatomeas, conchas de moluscos, fragmentos de pólipos de coral...

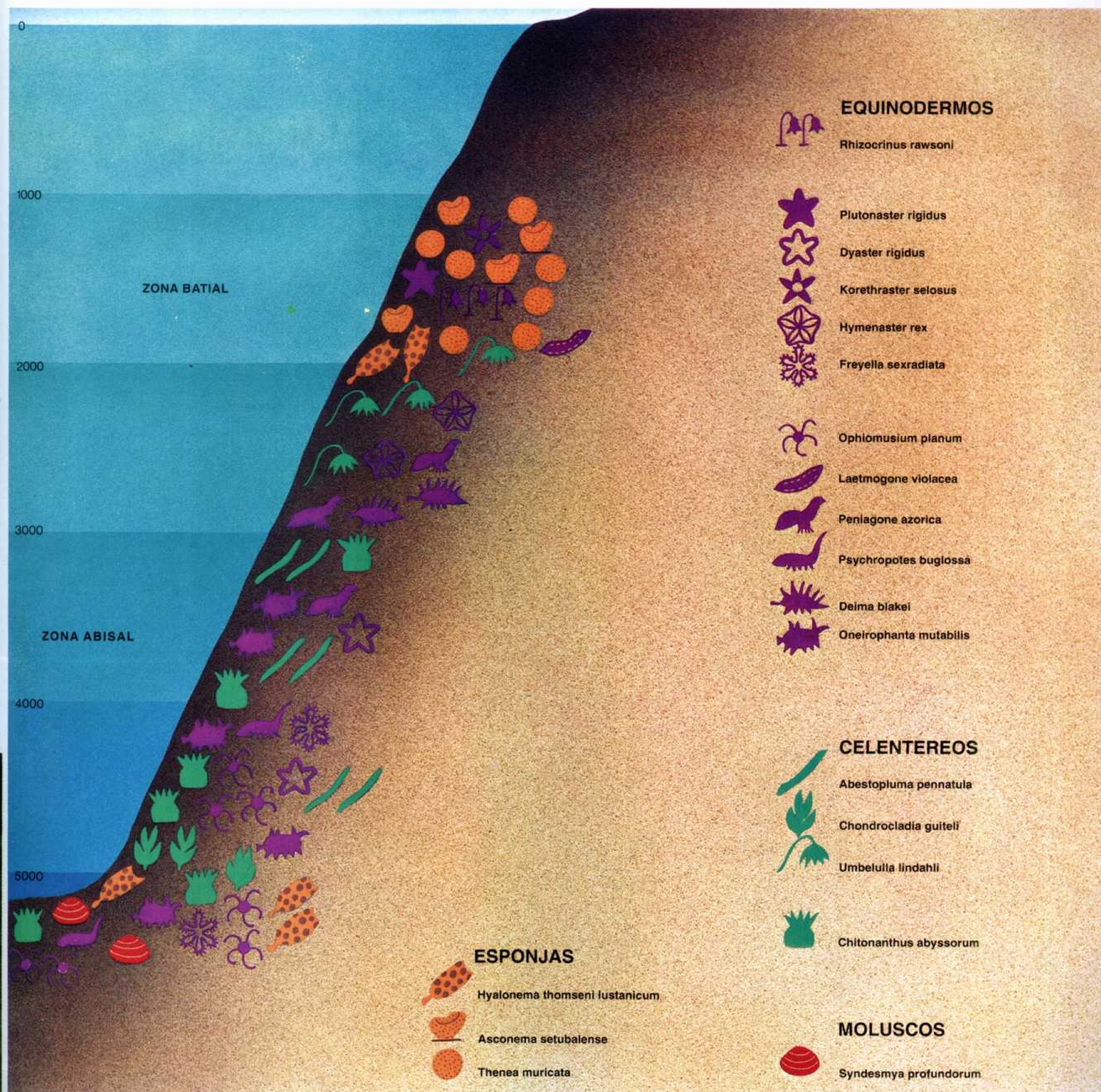
Otros sedimentos terrígenos no tienen por vectores a los ríos: son, por ejemplo, las arenas que los vientos arrancan a los desiertos y dejan caer en alta mar; o los guijarros y cascajos que los icebergs arrancaron en las montañas cuando eran glaciares, y que abandonan en el mar a medida que se funden. O también las cenizas y polvos volcánicos. Tales sedimentos, mucho más pobres que los de los cursos de agua continentales, no constituyen un terreno muy propicio para la multiplicación animal.

Los sedimentos de origen no terrígeno comprenden, por una parte, los polvos cósmicos (de los que, estadísticamente, el 71 por 100 cae en la superficie marina), y por otra, los materiales biógenos. Se llaman así los lodos originados por la caída, en el fondo del mar, de los cadáveres, conchas y esqueletos de plantas y de animales que viven normalmente cerca de la superficie. Estos depósitos pelágicos pueden ser muy espesos.

Los lodos de diatomeas, constituidos principalmente por los frústulos (tecas) silíceos de estas algas unicelulares, existen en numerosas regiones de los abismos, especialmente alrededor de la Antártida y en el Pacífico Norte (desde Alaska hasta el Japón, siguiendo la cadena de las Aleutianas). Los fangos de radiolarios se encuentran en grandes cantidades en las profundidades de los mares tropicales. Igualmente silíceos, forman densas capas, sobre todo en una franja del Pacífico que va desde América Central al archipiélago de las Hawai, y en el océano Indico al noroeste de Australia. Los lodos de foraminíferos, por su parte, son calcáreos. Los foraminíferos son unicelulares de gran tamaño, sumamente abundantes en el plancton marino, y cuyo «esqueleto» está formado por carbonato de calcio. Sólo se encuentran estos lodos a profundidades de menos de 5.000 a 6.000 metros; por debajo de este límite, que constituye lo que se llama la «profundidad de compensación» del carbonato de calcio, este último compuesto estalla y se disuelve.



Los sedimentos del fondo. *Las planicies abisales, inmensas y romas (abajo), están habitadas por escasos animales. En su mayor parte se cubren de sedimentos de origen terrígeno o biógeno (arriba). En el dibujo de la página siguiente: escalonamiento de las especies en el talud continental.*



En ciertos lugares, los fondos oceánicos están cubiertos de sedimentos compuestos, que reciben el nombre de arcillas rojas abisales. Se trata de mezclas de materiales de diversos orígenes (cenizas volcánicas, polvos acarreados por el viento, polvos meteoríticos) sumamente finos, pero en cuyo seno se encuentran, acá y allá, restos de seres vivos: frústulos de diatomeas, conchas de moluscos, aretes de peces, dientes de tiburón, incluso huesos de ballenas.

Los abismos constituyen un ecosistema muy estable. Ciertamente, los continentes derivan y se acumulan los sedimentos; en lugares determinados, volcanes sumergidos siguen manteniendo actividad, y se sabe que arrojan magma. Pero en conjunto, los factores influyentes en la variación del medio todavía son escasos y poco potentes.

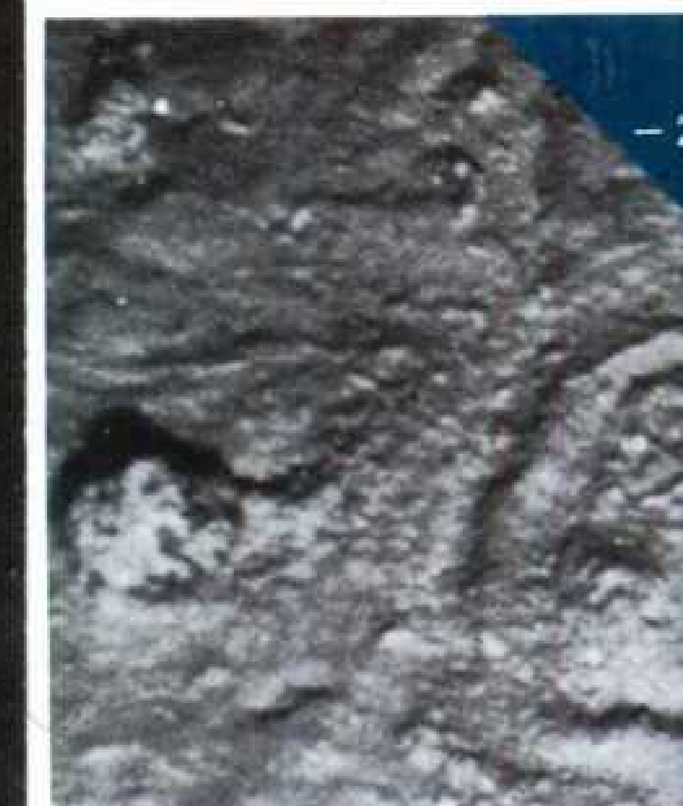
Los fondos abisales, que cubren las tres cuartas partes de la superficie del suelo oceánico, pueden ser descritos como vastos desiertos hiperbáricos, tenebrosos e isotermos, en los que la productividad biológica se reduce casi a cero. Pero las formas vivientes que logran resistir estas condiciones son tanto más apasionantes de estudiar.

Algunos animales de los abismos. *Las especies abisales siguen siendo poco conocidas, y los documentos fotográficos que los muestran son muy escasos. Aquí al lado: una pluma de mar (pennátula) en un fondo de guijarros del Pacífico sur. Abajo: crinoideos, esponjas y corales en el suelo del noroeste del Atlántico. En la página siguiente, arriba: en el cañón de Colorado, frente a las costas de California del Sur, una raya abisal sobrevuela unas holoturias y estrellas de mar. En la misma página, recuadro de la derecha: el cangrejo abisal* Geryon quinquidens, *sorprendido frente a las costas de Nueva Inglaterra. El grupo de pequeñas fotografías, en el centro de la doble página, muestra unas series de rastros debidos a organismos excavadores. En la página siguiente, abajo, a la derecha: un balanogloso en el lado oriental de la fosa de las Kermadec; el «serpentín» que deja tras de sí es debido a los residuos fecales que deposita.*












– 1100


– 4153

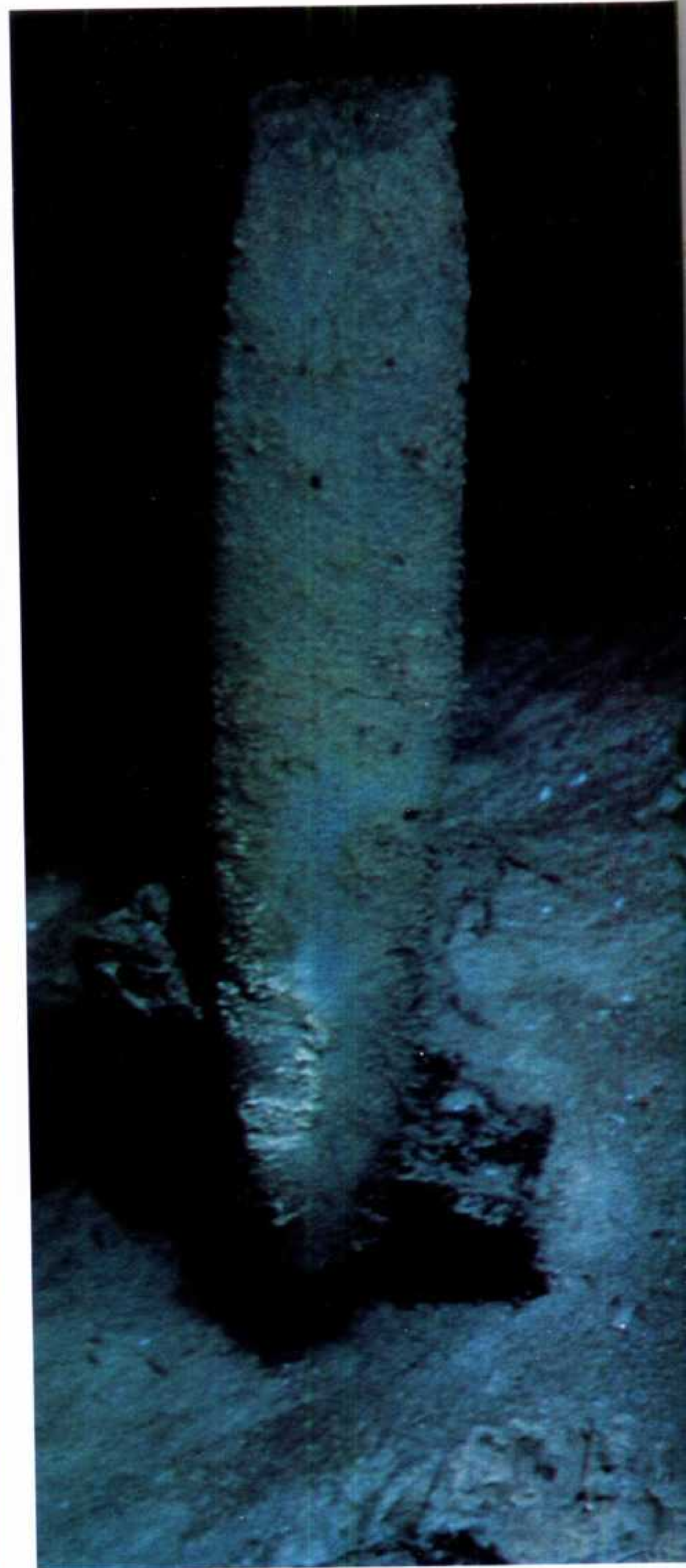

– 1250


– 1983

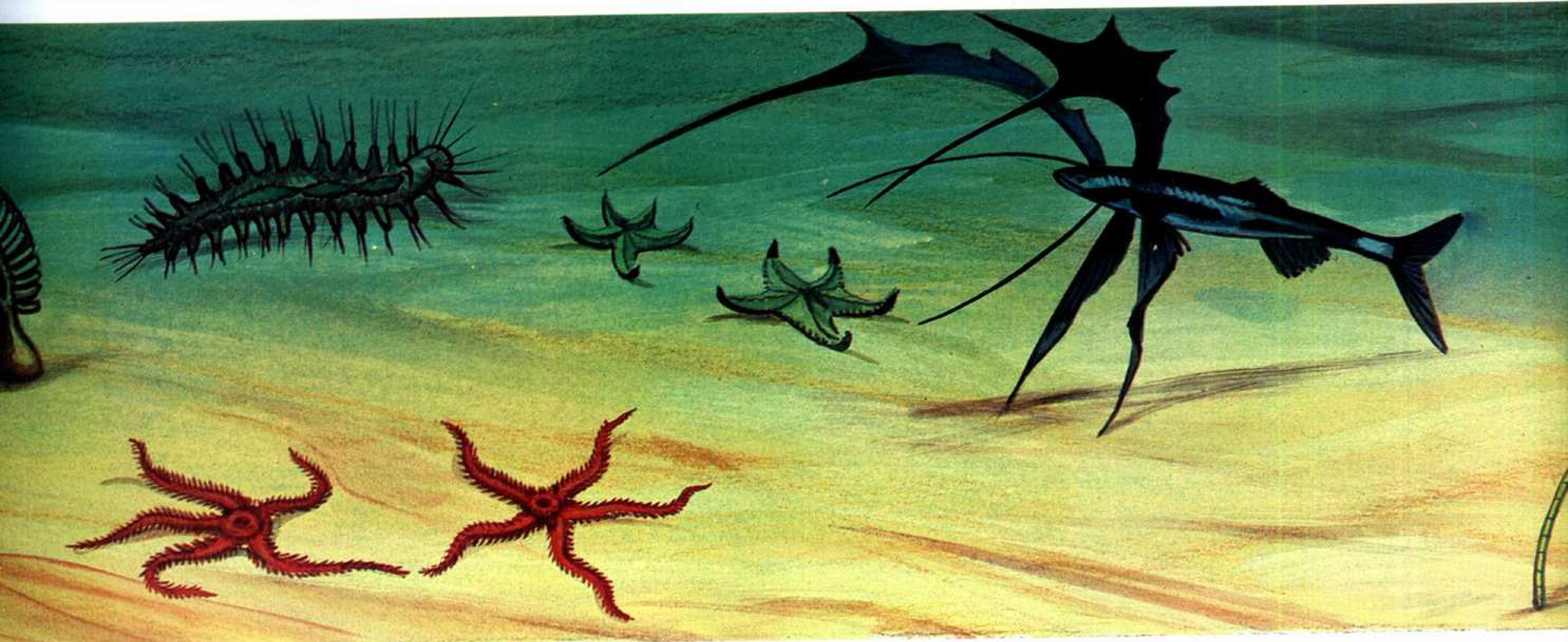

– 4871

Ambientes poco variables

EL aislamiento convierte a los abismos en ecosistemas aparte. Los factores abióticos (no vivientes) que influyen en los ambientes naturales y los modelan con sus incesantes cambios, se muestran aquí muy estables: no existe la luz (por tanto, ni ritmos anuales ni circadianos); la temperatura se mantiene constante (no hay estaciones); la salinidad es igual (no se dan gradientes de salinidad ni animales eurihalinos). Las corrientes profundas, muy lentas, no modifican casi las facies del suelo oceánico, y los porcentajes de gases y de moléculas diversas en suspensión permanecen constantes. Estos factores abióticos no se transforman profundamente sino en las zonas de gran conturbación geológica, esto es, en las regiones volcánicas, y más en particular en las inmediaciones de la dorsal medio-oceánica. Es ahí donde se encuentran los famosos manantiales hipersalados calientes, donde unas bacterias quimiótrofas utilizan especialmente la energía química de los compuestos del azufre para producir moléculas orgánicas; estas bacterias permiten la existencia de redes alimentarias originales, agrupando gusanos, moluscos, celentéreos, peces... Tales ecosistemas constituyen sorprendentes excepciones (y, de momento, poco conocidas) a la regla según la cual los abismos son pobres en especies, en individuos, y más pobres en alimentos (oligotrofos). Entre los animales de los grandes fondos, los ofiuros (clase de los ofiuroideos) son bastante notables. Estos equinodermos se parecen a las estrellas de mar de brazos largos y frágiles (se les llama también «estrellas quebradizas» por esta razón). Son comunes en profundidades de 1.000 a 2.000 metros, y alcanzan corrientemente más de 3.000 metros (como los de la familia de los asteroníquidos).







Una fauna extraña. *En las fotografías de la página anterior: un pez no identificado, moluscos bivalvos y estrellas de mar; una esponja abisal del género* Hexactinella. *En las fotografías de esta página: una anguila de las grandes profundidades; una holoturia; una estrella de mar rodeada de sabelas. En el dibujo de abajo de la doble página se ha idealizado un fondo marino en el que pueden reconocerse, de izquierda a derecha: una holoturia; dos ofiuros rojos; dos estrellas de mar; un pez trípode; dos lirios de mar; dos comátulas; un picnogónido; un erizo de mar, y otra holoturia.*







Se arrastran por el fondo apoyándose sobre sus largos brazos flexibles, y devoran tanto animales bentónicos vivientes (larvas, pequeños moluscos, pequeños crustáceos) como detritos que caen de la superficie. Una de las especies más frecuentes es *Ophimusium plasium*, que alcanza de cinco a siete centímetros de diámetro. Muchos representantes de la clase poseen órganos luminosos (fotóforos), que atraen a las presas.

La clase de los holotúridos, o cohombros de mar, pertenecen también al *phylum* de los equinodermos, y cuenta con varios representantes en los abismos. Las holoturias de los grandes fondos encarnan quizá a organismos primitivos, que se parecen grandemente a sus antepasados del Paleozoico. *Laetgomone violacea* llega a los diez centímetros de longitud. Los equinodermos están presentes con diversos géneros de estrellas de mar, de erizos de mar y de crinoideos (o lirios de mar).

En el *phylum* de los artrópodos, los animales más extraños que frecuentan los grandes fondos son unas grandes gambas rojas (clase de los crustáceos, orden de los decápodos), como las *Funchalia,* que superan los diez centímetros; y sobre todo los picnogónidos: esos animales que constituyen una clase aparte, parecidos a cangrejos subidos sobre unas interminables patas articuladas. Entre los crustáceos se puede citar igualmente a los isópodos y los anfípodos.

Los moluscos, poco numerosos, son sobre todo lamelibranquios. Los gusanos anélidos parecen mucho más abundantes, especialmente los poliquetos. Los celentéreos apenas están representados por las anémonas de mar (actinias) y las gorgonias. Los pogonóforos viven en los tubos quitinosos que segregan.



Los monstruos

UNA de las mayores sorpresas que se llevaron Jacques Piccard y Don Walsh, cuando por primera vez tocaron fondo, en 1960, en la fosa de las Marianas, a unos 11.000 metros de profundidad, fue divisar, a la luz de los proyectores de su batiscafo *Trieste*, a un pez que se parecía un tanto a un lenguado.

La vida, incluso bajo una de sus formas más complejas —el *phylum* de los vertebrados— ha sabido adaptarse a los más hostiles ambientes. A profundidades del orden de 1.000 a 3.000 metros se encuentra *Regalecus glesne:* esos peces en forma de cinta que miden apenas cinco centímetros de ancho, pero que alcanzan más de 2,50 metros de largo, conocidos igualmente con el nombre vulgar de «rey de los arenques», aunque no tienen evidentemente nada que ver con los auténticos arenques, a los que apenas frecuentan... Les llaman así los pescadores, sorprendidos quizá por su aspecto extraño y sus colores rutilantes. El equipo del *Calypso* los ha encontrado en varias ocasiones. Uno rodeó una vez al platillo buceador que pilotaba Albert Falco, en el curso de una misión en la caldera inundada del volcán Thera (Santorín), en las Cícladas griegas.

Los peces linterna se parecen a los hachas de plata: de 10 a 20 centímetros de longitud solamente, cuentan con órganos luminosos. Las quimeras, parientes de los tiburones y de las rayas, pasean en las tinieblas sus estrambóticas siluetas, de gruesa cabeza cuadrada y cola puntiaguda: utilizan la boca protráctil para escarbar los sedimentos del fondo y extraer las presas. El pez trípode encarna a otro extraño ciudadano de los fondos: reposa sobre la arena o el fango, sosteniéndose sobre una especie de zancos constituidos por tres prolongaciones de sus aletas (dos de las aletas ventrales, una de la caudal).

En las páginas siguientes volveremos sobre los peces de los abismos. Pero ahora tenemos que decir algo de los moluscos cefalópodos. Las leyendas de los marinos hablan desde hace siglos de pulpos gigantescos, capaces de tragarse a hombres e incluso a embarcaciones enteras. Todo el mundo conoce el mito escandinavo del *kraken,* así como las historias de terroríficos pulpos que cuentan Víctor Hugo y Julio Verne. El primer testimonio científico de la existencia de grandes cefalópodos abisales se recogió durante la expedición del *Challenger* (1873-1876). Se cobró entonces un pulpo gigante, al que se llamó *Cirroteuthis magna,* desde una profundidad de 2.800 metros en el océano glacial Antártico, y otro más desde una profundi-

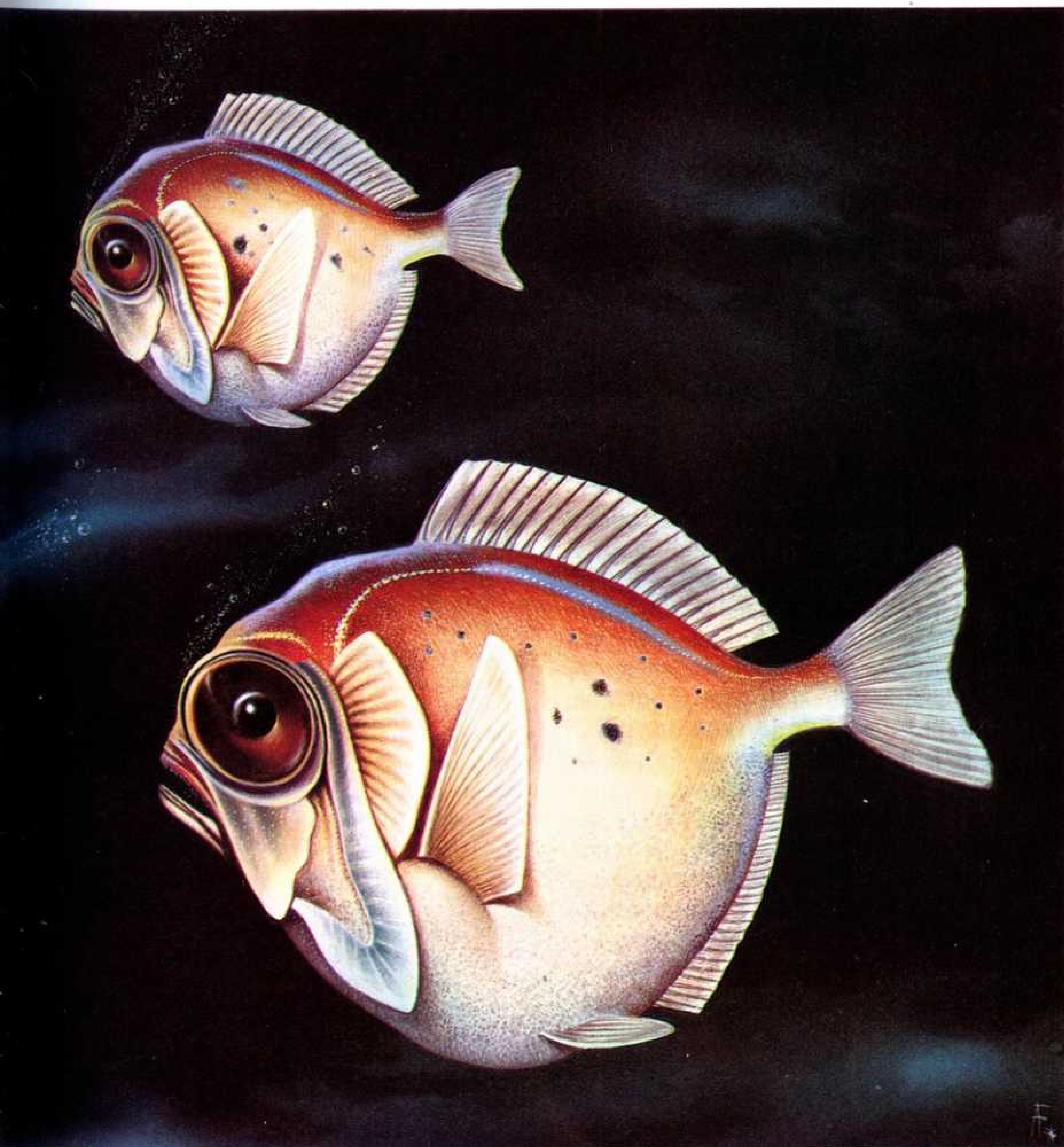




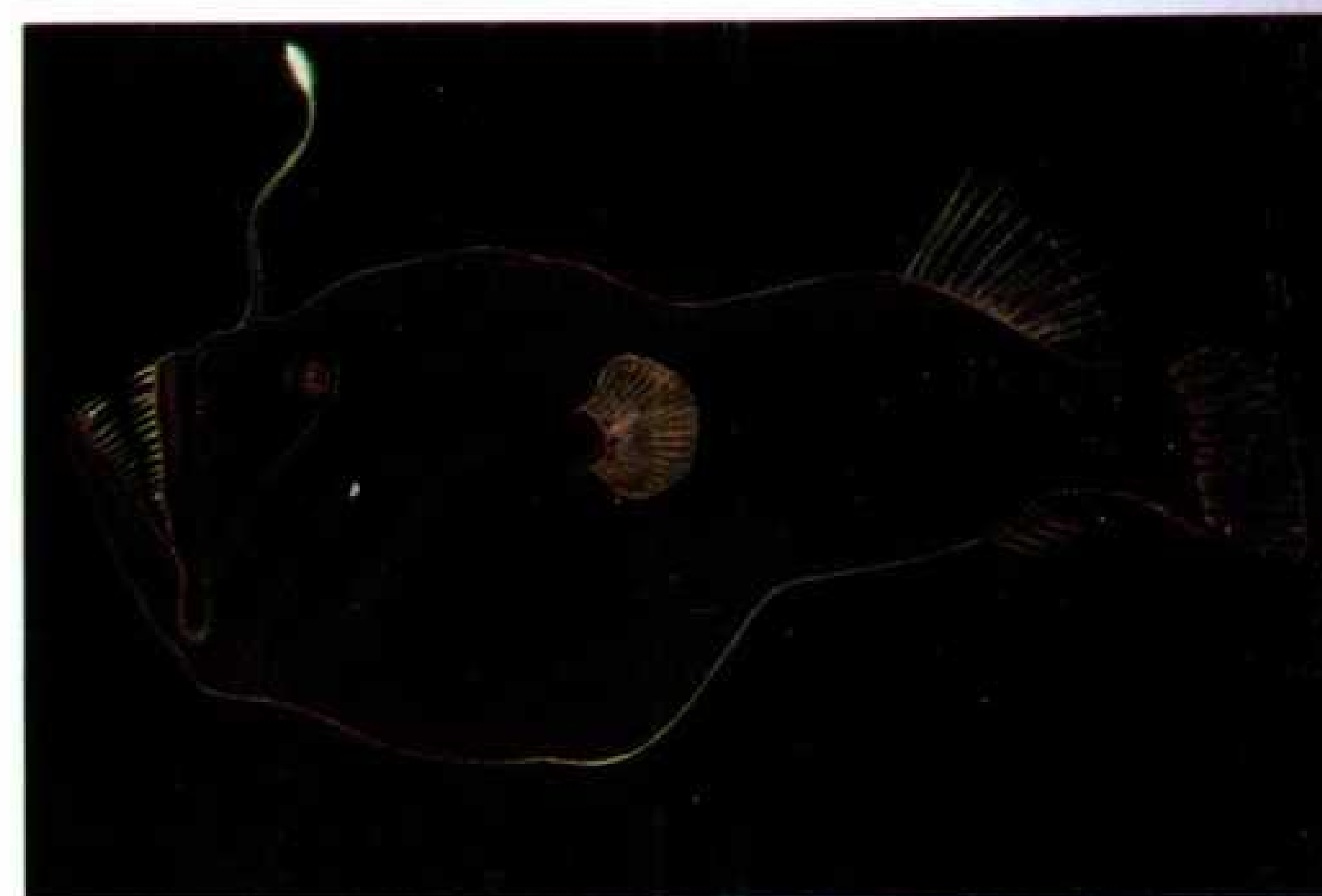
dad de 4.000 metros en el Pacífico Sur. Pero los reyes de las profundidades siguen siendo los calamares gigantes del género *Architeuthis*, de los que ya se han encontrado numerosos fragmentos, y de los que se sabe que constituyen, entre 800 y 1.200 metros de profundidad, una de las presas predilectas de los cachalotes. Estos moluscos cefalópodos son de color rojo a la luz del sol; pero su piel fosforescente emite un resplandor azulado en las tinieblas de los abismos. Trozos de cabeza y de tentáculos se han encontrado en diversas costas, a mar abierto y en el estómago de los cachalotes. Basándose en estos restos, los animales enteros deben de superar los 20 metros (incluidos los tentáculos) y las 40 toneladas.

Parece que son relativamente numerosos en los mares árticos, casi ausentes en las zonas intertropicales y poco abundantes en el Antártico.

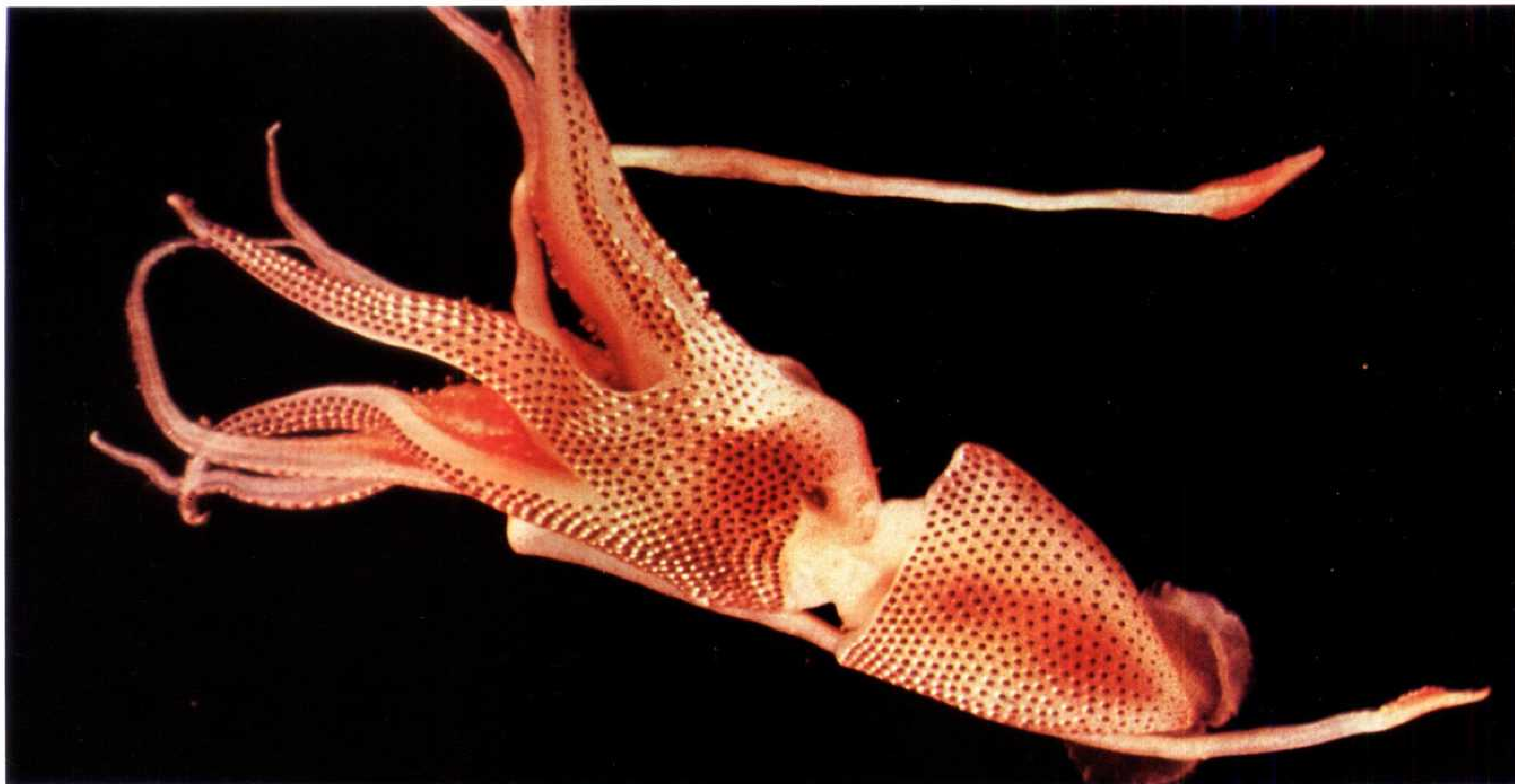
Sobrevivir en las tinieblas. *Arriba del todo: el «rey de los arenques»,* Regalecus glesne, *puede alcanzar los 2,50 metros de longitud. En la página anterior, abajo:* Phtostomias guernei *ataca a una gamba que emite una nube fosforescente para defenderse. En esta página, a la izquierda,* Diretmus argenteus. *Bajo estas líneas:* Saccopharynx ampullaceus *y* Melanocetus johnsoni.







Productores de luz



La zona abisal corresponde a la mayor parte de lo que se llama región afótica (sin luz) del océano. En ella no hay planta que subsista, y los animales que por allí vagan viven consumiendo detritos, cadáveres caídos desde la superficie o de otros animales del biotopo. Los carnívoros que están situados en la cúspide de esta pirámide alimentaria muy breve representan modelos sorprendentes de adaptación. Sus formas monstruosas son para ellos la mejor garantía de supervivencia. Sin una boca desmesuradamente grande y sin un estómago anormalmente extensible, no podrían tragar presas prácticamente tan grandes como ellos mismos: ahora bien, la escasez de sus presas potenciales impone el tragarlas enteras cuando las encuentran, para poder aguantar hasta la próxima comida...

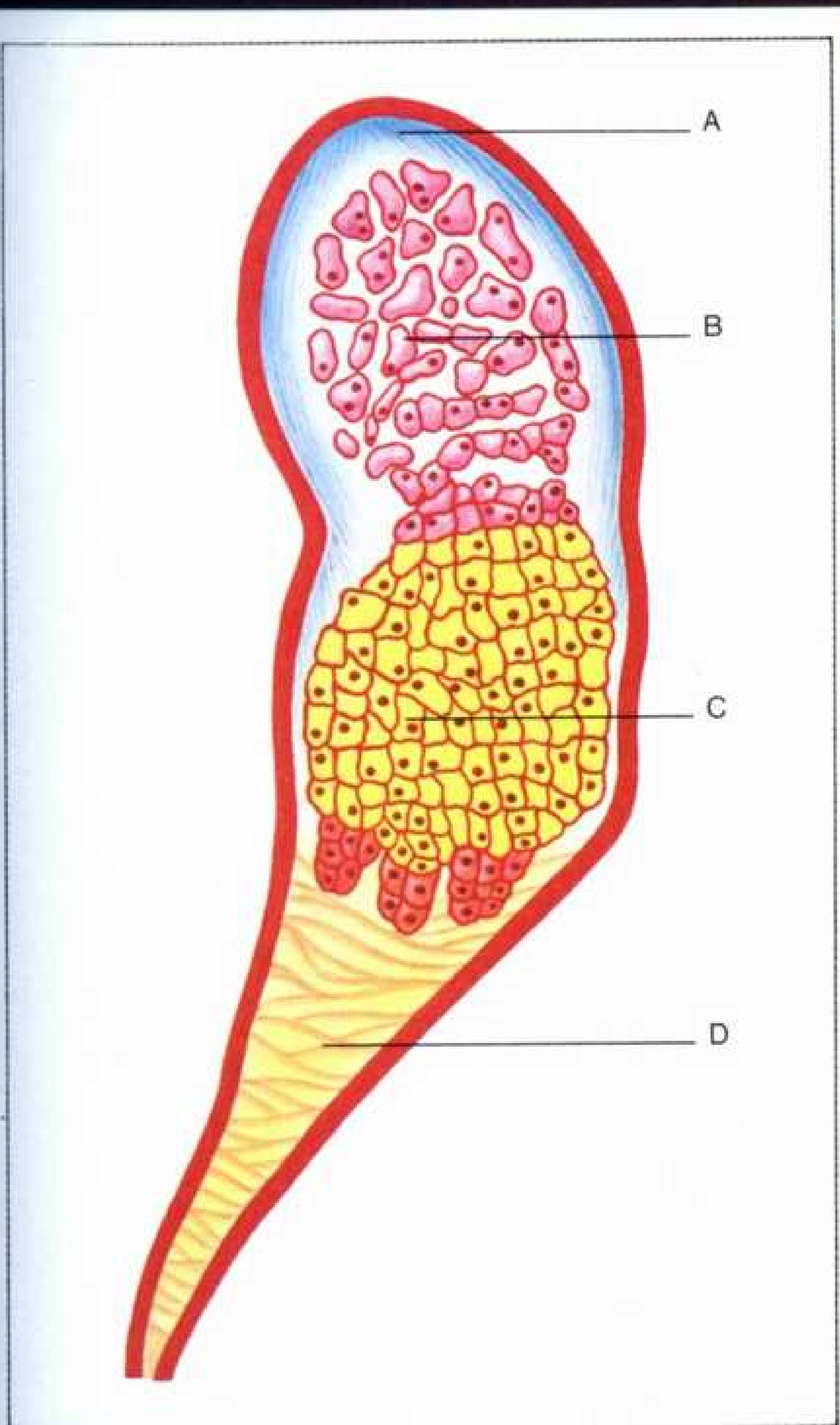
La inmensidad de la zona afótica (que constituye lo esencial del volumen del océano, pero que apenas alberga una mínima fracción de sus poblaciones vivientes) hace improbables no sólo los encuentros entre depredadores y presas, sino también entre los compañeros sexuales en el seno de cada especie. Algunos peces han resuelto este último problema de forma alucinante: en un tipo de peces pescador *(Ceratias holboelli)*, las hembras son unas 25 veces más grandes que los machos; estos, para estar seguros de no perderlas cuando las encuentran, se enganchan a ellas con la boca; progresivamente se sueldan a ellas, pierden los ojos, se les atrofian las branquias, el tubo digestivo y el sistema excretor. En una palabra, se transforman en parásitos, o, si se prefiere, en reservas de espermatozoides siempre disponibles para la madre ponedora.

Uno de los medios más corrientemente empleados por los animales de los abismos para encontrar a la pareja sexual es la emisión de señales luminosas. En la oscuridad absoluta, fabricar su propia iluminación constituye una apreciable ventaja. Para lograrlo, los organismos luminiscentes utilizan a menudo los servicios de bacterias simbióticas, capaces ellas mismas de producir fotones gracias a una reacción química reversible, basada en la degradación y la reconstitución de una proteína, la luciferina, bajo la acción de una enzima llamada luciferasa. Ciertos animales poseen ellos mismos células especializadas (fotóforos) donde se produce esta reacción.

Las señales luminosas permiten a la pareja sexual encontrarse en las tinieblas. Pero a veces les resultan fatales. En efecto, los depredadores no tardan en aprovechar esta argucia. Hasta hace poco se creía que el sentido de la vista era inútil en las profundidades afóticas, y que la mayoría de los animales de este biotopo estaban ciegos; pronto se advirtió, sin embargo, que la mayor parte en realidad ven bastante bien. Los depredadores divisan el resplandor de sus futuras víctimas, sobre las que se abalanzan prontamente. Algunos llegan hasta imitar los impulsos-respuestas del compañero sexual esperado por el animal que emite luz. Cuando éste se presenta, todo anhe-



Luces en la noche. *Un gran número de peces abisales son capaces de emitir señales luminosas. Así hacen el calamar y el pez que aparecen en esta página, o los hachas de plata del género* Argyropelecus *de la página siguiente. Las luces se deben bien a bacterias, que viven en simbiosis con los animales luminosos, bien a células especiales, llamadas fotóforos. En ambos casos se trata de una luz «fría», debida a la degradación (reversible) de una proteína llamada luciferina. Esta proteína es degradada bajo el efecto de una enzima llamada luciferasa: entonces es cuando tiene lugar la producción de luz —con un consumo mínimo de energía y sin radiación calorífica—. El esquema de la página siguiente es un corte de un fotóforo. Muestra en (A) la capa de células reflectoras; en (B), las células con luciferina; en (C), las células pigmentarias, y en (D), las células que hacen de lente.*



lante, para aparearse, una cruel sorpresa le aguarda. En cuanto a los peces pescador, disponen de un apéndice cefálico parecido a una caña de pescar con su cebo: los pequeños depredadores voraces se precipitan sobre este anzuelo y acaban en el estómago del pescador; ciertas especies de estos abismos han perfeccionado el sistema, puesto que poseen un filamento y un cebo luminosos. En una variedad de estos mismos animales, como decíamos más arriba, los machos, ridículamente pequeños, se sueldan a las hembras y se convierten, por así decir, en simples glándulas sexuales.

Cuando William Beebe alcanzó por primera vez los 900 metros de profundidad, en 1934, a bordo de su batisfera, quedó estupefacto por el número de animales luminosos que descubrió a esta profundidad. El informe que redactó de su exploración suscitó en este punto mucho escepticismo entre los científicos. Pero las inmersiones en batiscafo que siguieron, especialmente en los años cincuenta, confirmaron plenamente las observaciones del pionero de la exploración profunda.

Puede decirse que, desgraciadamente, desde hace unos veinte años apenas se ha avanzado en el estudio de la bioluminiscencia. Sin olvidar que la producción de luz fría —por reacción enzimática— podría interesar a nuestras sociedades derrochadoras de energía, parece sumamente extraño que un tema tan extraordinario no suscite en la comunidad científica el entusiasmo de numerosos investigadores.

Peces extraños

Los peces pescador de las profundidades, dotados de una «caña luminosa», pertenecen a la familia de los ceratoideos. Son criaturas extraordinarias por todos conceptos: la evolución los ha dotado de una verdadera herramienta; y, como ya lo hemos mencionado a propósito de *Ceratia holboelli,* su dimorfismo sexual es excepcionalmente importante.
Otras especies de ceratoideos disponen de señuelos luminosos. El filamento pescador (que los científicos llaman *illicium)* está situado directamente en la boca de una de ellas, a la que basta con cerrar las mandíbulas cuando la víctima ha «mordido». Otra especie, *Linophryne arboriphera,* enarbola una suerte de monstruosa perilla luminiscente, hacia la que se sienten atraídos los calamares y los pececillos.
Los peces abisales más conocidos pertenecen al suborden de los estomiatoideos, y a las familias emparentadas de los gonostomatideos, los idiacantideos y de los malacosteideos. Se trata de formas vivientes en las que se observan modificaciones del aparato digestivo, particularmente de la mandíbula y del estómago. Estos animales comen pocas veces, pues las presas disponibles escasean. Deben, pues, comer mucho cuando pueden. La evolución los ha hecho capaces de tragar víctimas tan grandes como ellos mismos, para lo cual cuentan con un estómago extensible que cuelga bajo ellos como una enorme bolsa cuando está lleno, y una boca de geometría variable, que les ha valido el nombre vulgar (y muy merecido) de «tragones», como el tragón negro *(Chiasmodon niger).* Cuando estos peces detectan a la presa se le echan encima con la boca abierta: su mandíbula superior se dobla parcialmente hacia atrás, y su mandíbula inferior, por un mecanismo de articulaciones ultraflexibles y de

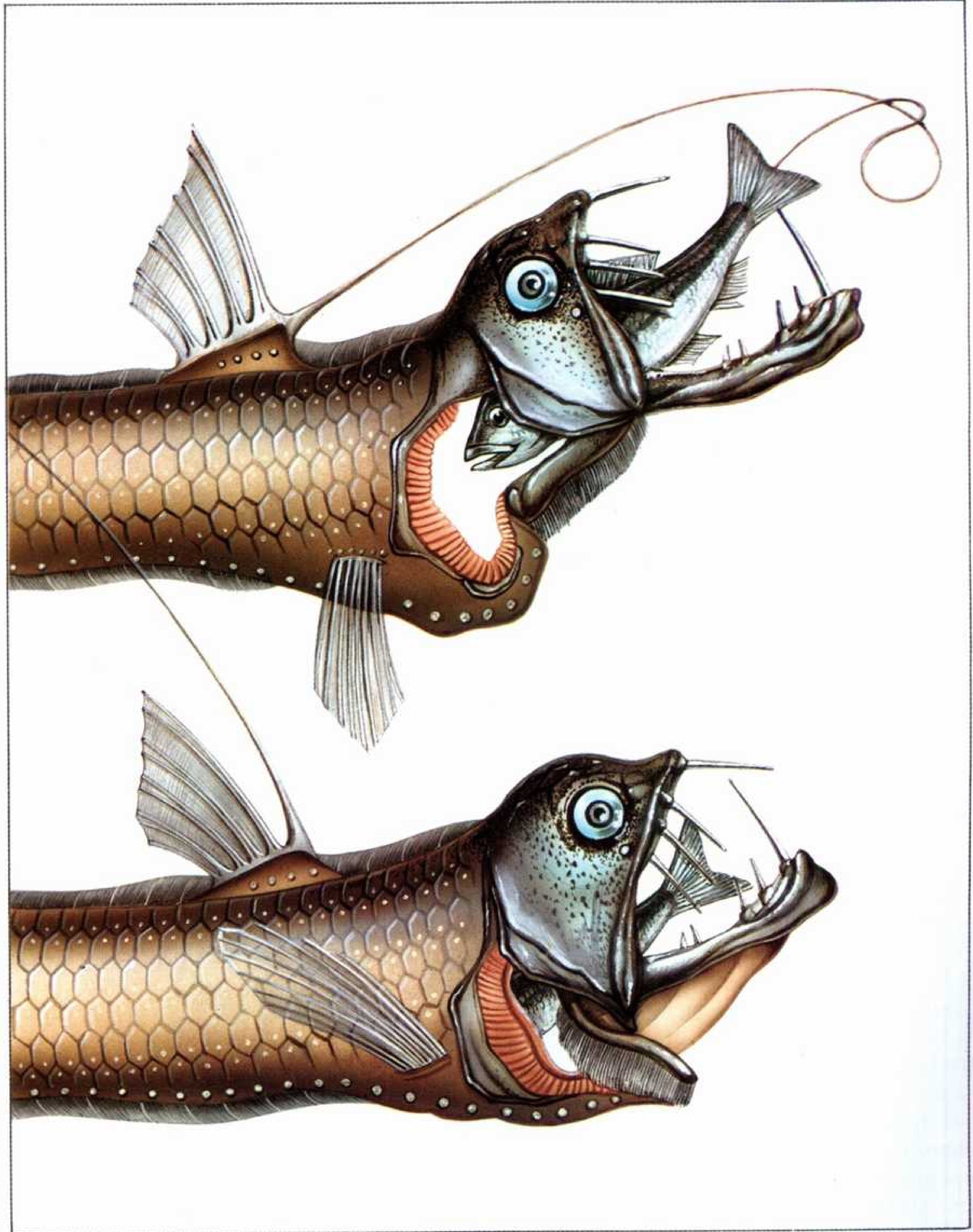


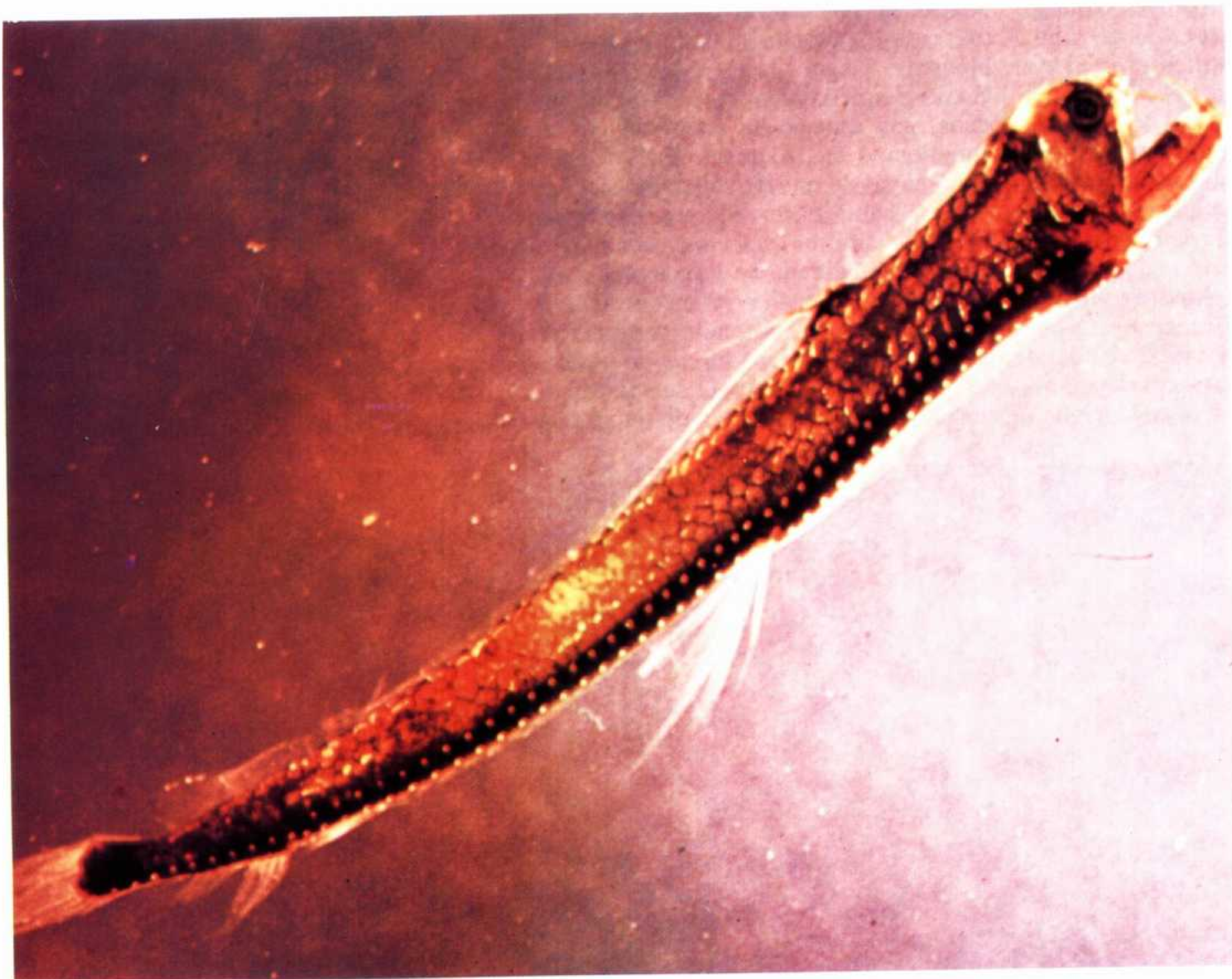
músculos extensores, se proyecta hacia adelante; las fauces se abren al máximo; la presa, a la que largos dientes impiden retroceder y escapar, pasa al vientre del carnicero.
Los gonostomatideos se encuentran entre los 100 y más de 3.000 metros de profundidad. *Gonostoma bathyphilum,* de color negro, posee grandes ojos de dilatada pupila. Cuando son jóvenes nadan en las aguas superficiales del Mediterráneo y del Atlántico *Cyclotone braueri* y *Cyclotone pygmaea;* pero en la edad adulta descienden hacia los abismos para no volver a subir nunca ya (salvo, excepcionalmente, en invierno). *Cyclotone obscura* presenta la característica de estar probablemente ciego.
En la pequeña familia de los idiacantideos, una especie ha guardado por mucho tiempo sus secretos. En 1898-1899, en el curso de una expedición oceanográfica, se había observado a un animal de cuerpo fusiforme y frágil, cuya porción cefálica se alargaba en largos pedúnculos al cabo de los cuales se encontraban los ojos. Nadie lo comprendía, y se llamó a esta criatura *Stylophtalmus paradoxus.* Sólo muchos años después se advirtió que se trataba de una larva, la de un pez cuya

Los tragones de las profundidades. *En los abismos escasean los recursos alimentarios. Para sobrevivir, los cazadores deben ser capaces de engullir grandes presas, para «aguantar» hasta la próxima comida. Mandíbulas y estómago están adaptados al efecto. Estos órganos son extraordinariamente extensibles.*

Abajo: dos fases de la captura y deglución de una presa por parte del pez demonio, Chauliodus sloanei. *En la fotografía de la página anterior: un pez* Gonostoma denudatum *acaba de capturar un camarón. Nótese la forma de los dientes, dispuestos en rastrillo, que sirven únicamente para retener a las víctimas.*







*forma adulta se había descrito con el nombre de *Idiacanthus fasciola*.*

Los peces abisales son todavía poco conocidos. Se pueden, no obstante, enumerar algunas generalidades al respecto: se sabe con seguridad de los gonostomatideos, por ejemplo, que son de pequeño tamaño; que su cuerpo alargado, cubierto de escamas poco gruesas, es muy frágil (se rompe espontáneamente si se le manipula sin precauciones fuera del agua); que su aleta dorsal, bien desarrollada, es casi simétrica de su aleta anal (mientras que las pectorales y las ventrales son reducidas). También, que sus órganos luminosos están distribuidos regularmente a los lados, hasta la cola (lo que los hace parecerse en la oscuridad a buques en miniatura, con todas las portillas iluminadas). Y que poseen otros fotóforos en la cabeza. Que sus ojos están dispuestos a los lados de la cabeza, ligeramente desorbitados. Pero apenas se pueden aportar más datos sobre su biología, su comportamiento, sus hábitos ecológicos o sexuales.

Uno de los gonostomatideos más fácilmente observable es el maurolico de Muller *(Maurolicus muelleri)*. El nombre del género de este animal procede del estudioso italiano Francesco Maurolico, quien, entre los años 1550-1575, estudió y describió a ciertos peces abisales del estrecho de Messina. En efecto, en este angosto paso situado entre Calabria y Sicilia, es tanto el vaivén de las corrientes, que en ciertas épocas del año suben a la superficie, o arrojan directamente a la playa, grandes cantidades de organismos procedentes de las capas más profundas del Mediterráneo. El maurolico de Muller posee espléndidas escamas verdeazuladas realzadas en plata, con reflejos nacarados en cabeza y vientre; pero estas magníficas tonalidades se desvanecen en contacto con el aire. El animal enarbola aletas pectorales y ventrales relativamente grandes (por lo menos para un gonostomatideo), y una dorsal alargada, a la que sigue una pequeña aleta no radiada —una aleta adiposa curiosamente semejante a la que tienen las truchas—. La caudal, bífida, muestra una profunda incisión mediana. El maurolico de Muller no es privativo del Mediterráneo: a veces se le pesca también, echando las redes profundamente, en todo el Atlántico Norte y en el océano Indico.

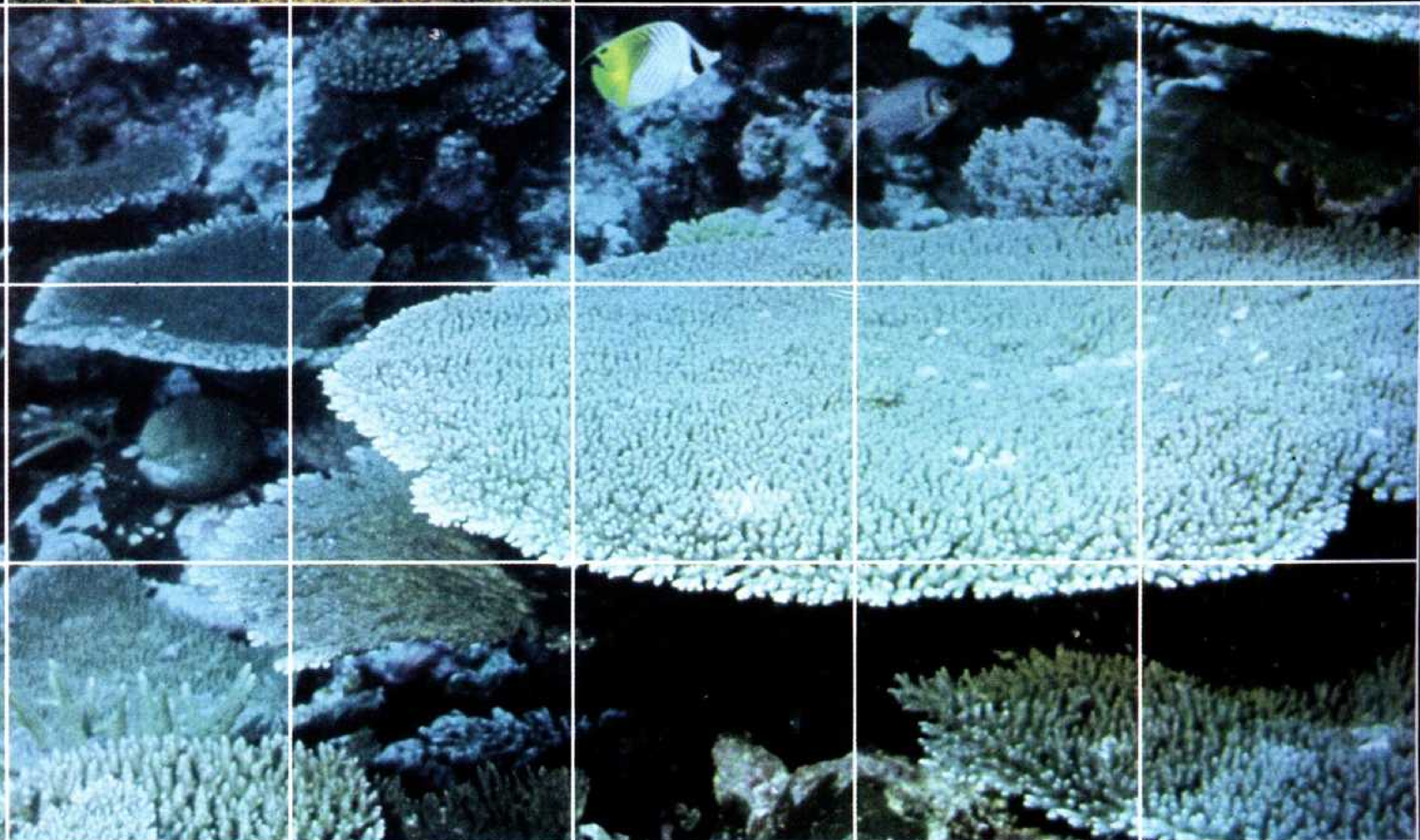
Dadas las condiciones ecológicas perpetuamente iguales (casi no han cambiado desde hace miles de siglos), los abismos constituyen una especie de museo viviente de la evolución. Ciertas especies han retrocedido desde hace mucho tiempo, pero allí se perpetúan al abrigo de las conturbaciones geológicas y climática que afectan a la superficie. Los hacha de plata del género *Argyropelecus*, po ejemplo, siguen siendo los mismos desd el Eoceno. *Argyropelecus glesne* pase desde esa época su extraña cabeza platea da en forma de hacha en los fondos d 300 a 600 metros.

***El pez víbora.** La víbora abisal* (Chauliodus sloanei) *habita los fondos de 1.000 a 2.000 metros. Se la encuentra en el talud continental del Atlántico, tanto del lado euafricano como del americano. El animal, de color gris azulado (esta fotografía tomada con* flash *es engañosa) posee a los lados hileras de fotóforos, que atraen a los peces pequeños. Este pez no es venenoso, pero se le llama víbora abisal por sus largos dientes en forma de agujas dobladas que le sirven para retener sus presas. En ciertas épocas del año, la especie lleva a cabo migraciones que la suben a 50 ó 100 metros apenas de la superficie oceánica. También se llama a veces pez víbora a la araña, escorpión o dragón marino* (Trachinus draco) *que, éste sí, posee espinas venosas y vive muy cerca de la superficie; a menudo incluso habita en la arena de las playas.*





Las barreras coralinas





Las comunidades de constructores



Los arrecifes de coral constituyen uno de los ecosistemas más productivos de la Tierra, pero también uno de los más complejos. La asociación de especies, bajo muy diversas formas, es constante y cada nicho ecológico está rodeado por muchos otros nichos, con los cuales se establecen múltiples relaciones. Las especies básicas de estas biocenosis son los celentéreos cnidarios coloniales, que designamos bajo el nombre genérico de coral, pero que pertenecen a varios grupos diferentes de animales. Muchas otras especies zoológicas, y también botánicas, se unen a los corales para formar el arrecife. Los corales designan, en el sentido estricto del término, a los celentéreos cnidarios de la clase de los antozoos (del griego *anthos*, «flor», y *zoon* «animal»). Se les llamaba antiguamente corolarios o actiniarios. Son celentéreos fijos (contrariamente a las medusas, por ejemplo) y coloniales. Están constituidos por una especie de saco cuyas paredes están formadas por dos capas celulares (ectodermo y endodermo); su cavidad gástrica se abre hacia arriba mediante una boca-ano rodeada de tentáculos. La clase de los antozoos se ha dividido en tres órdenes: los tetracoralarios, con cuatro tentáculos, vivían durante la era Primaria y han desaparecido totalmente en la actualidad; los octocoralarios están provistos de ocho tentáculos; los hexacoralarios poseen un número de tentáculos igual a seis o a un múltiplo de seis. Aunque los antozoos representan con diferencia a los principales constructores de arrecifes, otros muchos organismos participan activamente en esta construcción. Este es el caso de algunos celentéreos de la clase de los hidrozoos, llamados acertadamente hidrocoralarios (como el mileporino colonial *Millepora*). También es el caso de muchos animales del *phylum* de los briozoos. No debemos olvidar el papel de las algas coralinas, o algas incrustantes, que pertenecen al gran *phylum* de las algas rojas (rodofíceas) y que acumulan mucho calcio sobre las paredes rocosas sobre las que se asientan. Por el contrario, no todos los antozoos son coloniales y construyen arrecifes. Entre los octocoralarios, los alciónidos son efectivamente coloniales, pero no poseen esqueleto, en los pólipos, sino sólo espículas calcáreas internas (*Alcyonium*, *Tubiporum*, coral rojo *Corallium;* coral azul *Heliopora*). Los gorgonáceos (gorgonias) se disponen en colonias ramificadas como las ramas de un árbol, pero no construyen arrecifes. Los pennatuláceos (*Veretillum*, *Pennatula*) viven fijados en la arena.

Entre los hexacoralarios, los actiniarios, o anémonas de mar, no poseen esqueleto calcáreo. Los ceriantarios son grandes pólipos solitarios que segregan tubos membranosos en el interior de los cuales se refugian en caso de peligro. Los zoantarios forman pequeñas colonias y se asocian con otros animales (ermitaños, esponjas).

Por último, los principales responsables de la construcción de los arrecifes son los hexacoralarios del suborden de los madreporarios. Se parecen a las anémonas,

Los faraones del mar. *Al acumular sus esqueletos calizos día tras día, año tras año, siglo tras siglo, los corales constructores acaban por edificar monumentales estructuras, de las que da una idea la fotografía de esta página (se trata de la barrera coralina de las islas Fiji).*
Las especies de corales capaces de construir tales monumentos son muy numerosas; hay 35 en el Atlántico y más de 700 en la región Indo-Pacífica. El dibujo de la página de la derecha muestra la distribución de algunos madreporarios en un arrecife del Pacífico. Las fotografías de la página de la derecha dejan ver, de izquierda a derecha y de arriba abajo: una gorgonia amarilla, un coral del género Acropora, *o cuerno de ciervo; pólipos del género* Tubastrea; *una gorgonia roja, y la parte superior de un alcionario fungiforme.*

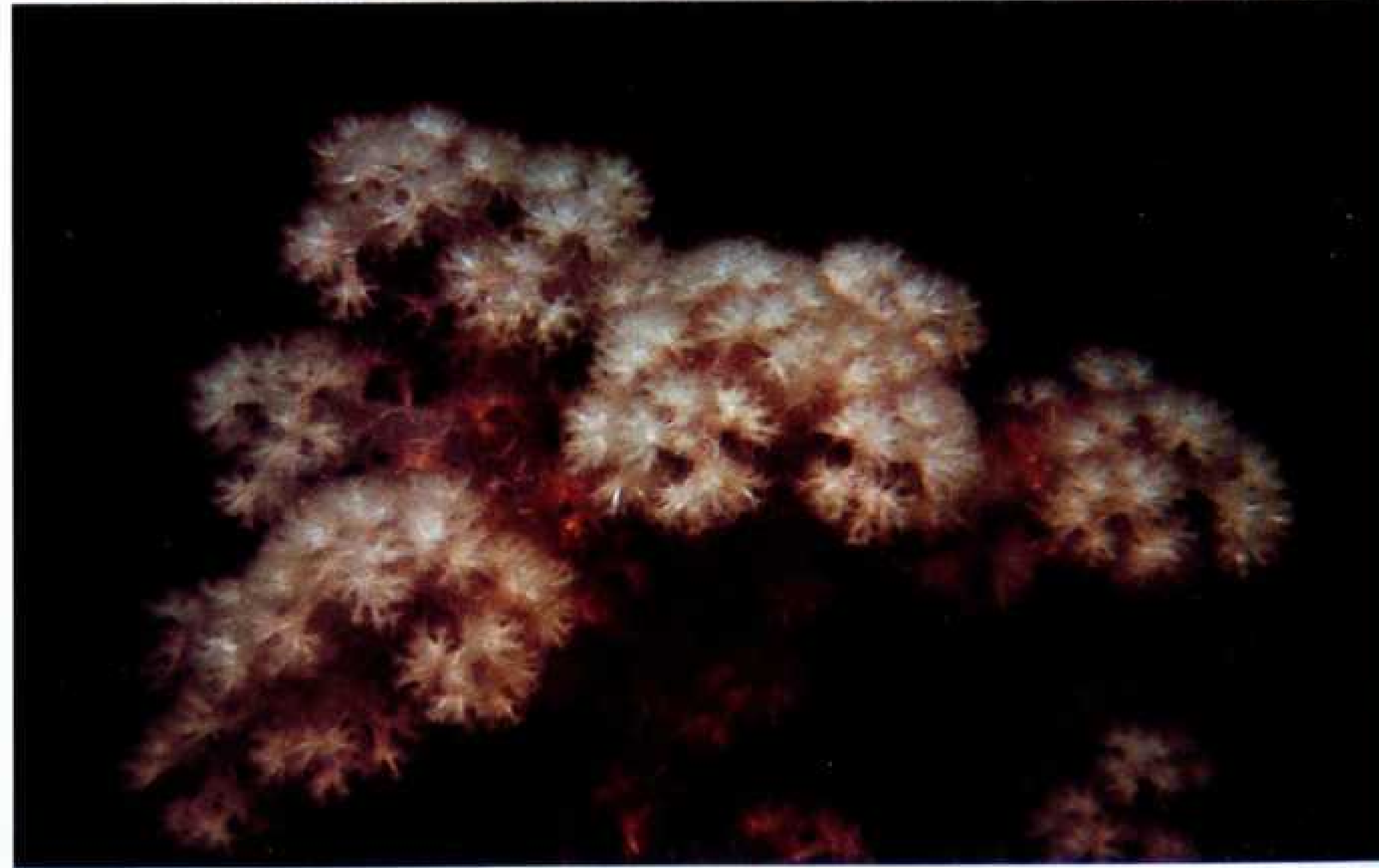


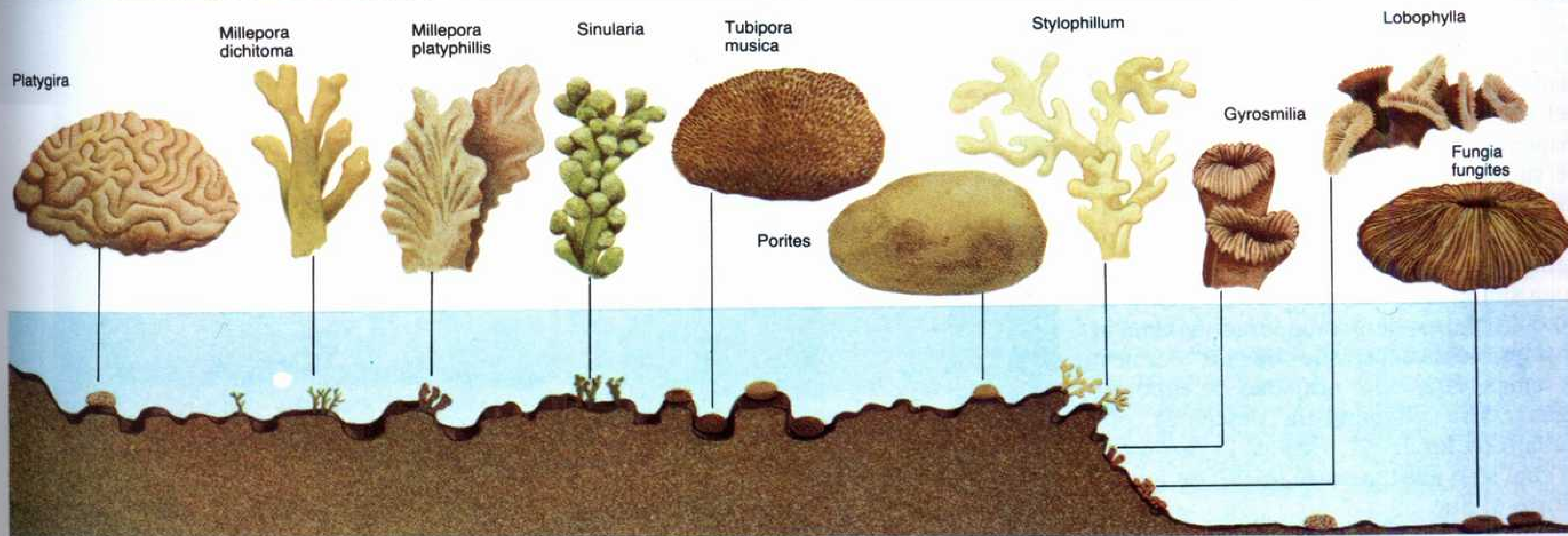











Platygira
Millepora dichitoma
Millepora platyphillis
Sinularia
Tubipora musica
Porites
Stylophillum
Gyrosmilia
Lobophylla
Fungia fungites

pero se diferencian de ellas por su esqueleto externo, segregado por el ectodermo. Cada animal vivo de la colonia, es decir, cada pólipo, está fijado sobre un cáliz que cubre como el dedo de un guante.

Para comprender el proceso de construcción de un arrecife hay que seguir las etapas de la vida de una colonia de madreporarios. La larva del animal, de tipo plánula, se desarrolla en la cavidad gástrica de su madre. Sale de ella para fijarse sobre un soporte rocoso, en el que se compartimenta, adquiere sus tentáculos de adulto y empieza a segregar un soporte calcáreo, sobre el que se eleva. El pólipo inicial empieza rápidamente a cubrirse de brotes y a diversificarse longitudinalmente (yemas y esciparidad constituyen dos tipos de reproducción asexual). La colonia crece rápidamente: el pólipo madre da lugar a pólipos-hijos, que producen a su vez pólipos-nietos... Las secreciones calizas se unen para formar un polípero, estructura sólida de forma variable según las especies. Algunos pólipos son machos y otros hembras; los espermatozoides de los primeros, liberados en el agua, se unen a los óvulos en la cavidad general de estas últimas. Dan lugar a huevos (oozoides), de los que salen las larvas plánula que podrán fijarse sobre el soporte rocoso para crear nuevas colonias.

Los madreporarios, al ser los principales corales constructores de arrecifes, son también llamados hermatípicos (del latín *herma,* «monumento»). Se alimentan de pequeñas presas que capturan con sus tentáculos (que, como en todos los cnidarios, están provistos de células urticantes o cnidoblastos). Los pólipos desarrollan su mayor actividad durante la noche.

Los corales no pueden establecerse a grandes profundidades ni en aguas turbias. Este hecho se debe a que viven en simbiosis constante con algas pardas unicelulares, las zooxantelas. Estas, al realizar la fotosíntesis, extraen dióxido de carbono del agua y expulsan oxígeno, utilizado por los corales que les protegen. Los pólipos se alimentan de las algas, aunque sus jugos gástricos son poco apropiados para la digestión de la celulosa y del almidón. Las zooxantelas les son indispensables por muchas razones: además de su acción de purificación de los gases disueltos, les libran de sus desechos metabólicos, en especial de los residuos nitrogenados y fosforados.

Esta simbiosis establece prácticamente en 30 ó 40 metros de profundidad máxima la frontera del desarrollo de los corales. Además, éstos son incapaces de soportar aguas cuya temperatura desciende por debajo de los 18 °C. Esta es la razón por la cual sólo existen entre los 37° de latitud Norte y Sur.



Barracudas
Pez loro
Anémonas
Manta raya
Balista
Estrella de mar
Tridacna
Raya común



Una comunidad rica y compleja. *Los corales y las algas incrustantes constituyen el marco para la existencia de numerosas especies de esponjas, anélidos, moluscos, crustáceos, equinodermos y peces. Maravilloso universo en el que las relaciones de interdependencia unen de un extremo a otro de la cadena alimentaria a las algas unicelulares con los grandes tiburones... La fotografía de la página de la izquierda nos muestra lábridos y damiselas azules. La que aparece en esta página presenta una esponja y, junto a ella, bonitos anélidos espirógrafos con el penacho de tentáculos desplegados.*

Las algas coralinas

En el transcurso de su célebre viaje alrededor del mundo a bordo del *Beagle,* Darwin se interesó por los corales: tendremos ocasión de volver a verlo. Observó, por ejemplo, que en todos los arrecifes de gran tamaño había aristas más elevadas que otras, compuestas por una costra de carbonato de calcio. Atribuyó este tipo de depósitos a un género de algas unicelulares que llamó *Nullipora.* De hecho, las algas incrustantes pertenecen en su mayoría al género *Lithothamnium.*

Constituyen una familia perfectamente individualizada de algas rojas *(phylum* de las rodofíceas) de la clase de las florideas, y que se reagrupan bajo el nombre evocador de coralináceas. Incluyen especies cuyos tejidos fuertemente calcificados constituyen costras con mamelones o masas más o menos ramificadas sobre las rocas. Hay varios géneros. Además, de *Lithothamnium,* ya citado, debemos mencionar a *Archaeo lithothamnium* (que encontramos prácticamente igual a sí mismo en las costas actuales y en forma fósil en los terrenos que se remontan al Cretácico). Los demás géneros importantes son *Lithophyllum, Melobesia, Porolithon* y *Corallina.* No todos son típicos de las aguas tropicales, pero sólo en ellas crecen abundantemente.

Mientras que los corales mueren si se les expone durante un período prolongado a la luz directa y al calor del sol, las algas son mucho más resistentes. Esta es la razón por la cual consiguen edificar en la cima de los arrecifes esos «relieves continuos, lisos y convexos, como diques artificiales» (Darwin).

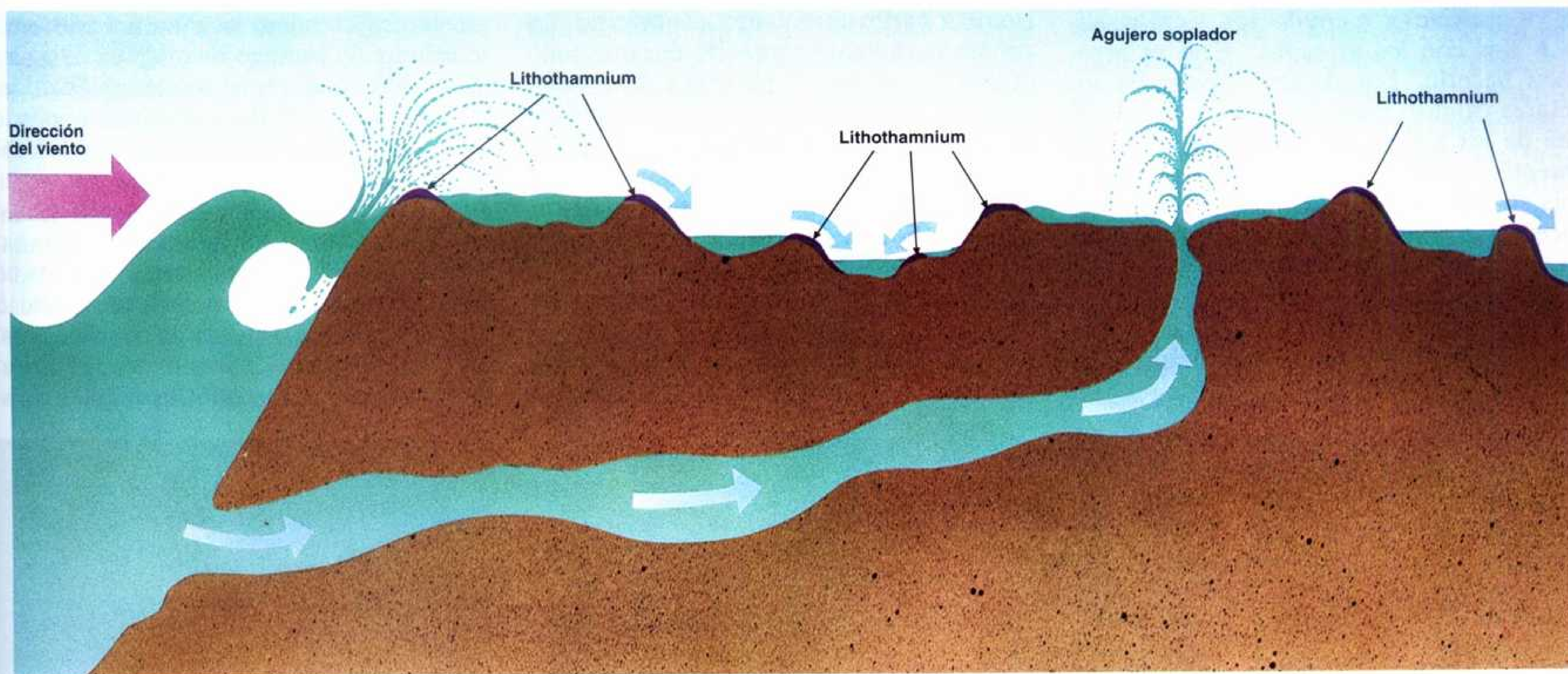
Cuanto más se estudian, más se observa que estas algas incrustantes desempeñan un papel importante en la economía de los arrecifes. Al cubrir la cumbre de los arrecifes, protegen a estos edificios de la acción erosiva de las olas y del viento. Aglomeran fuertemente entre sí a las diferentes masas madrepóricas superficiales. En otras palabras, juegan el papel del cemento.

Darwin escribía: «Nada resulta más curioso, en la marea baja, que estos paneles de roca desnuda, que podrían considerarse murallas especialmente diseñadas para resistir a las olas, y que superficialmente se parecen también a olas espumosas.»

Los corales que crecen por debajo del nivel de la bajamar toman una forma generalmente arqueada. Se organizan en grandes estructuras con aspecto de castillo. Pero sus murallas están muy lejos de ser impermeables: los pasillos sinuosos que en ellas se abren permiten a las olas llegar, durante la marea alta, hasta el interior de la barrera coralina.

Pueden existir igualmente, bajo algunos bloques de coral, túneles por los cuales el





Las incrustaciones. *Las regiones del arrecife de coral que permanecen al descubierto en la marea baja no son favorables al crecimiento de los celentéreos. Son colonizadas por algas incrustantes que consolidan la cumbre del edificio (al lado y abajo). Página de la izquierda: un agujero soplador en plena acción. Arriba: esquema explicativo del fenómeno.*



mar se precipita y que desembocan al aire libre, muy lejos del frente del arrecife: las ondas líquidas se propagan en ellos a gran velocidad, y el agua surge en ruidosos penachos.

El fenómeno es tan evocador que se llama a los orificios de estos túneles «agujeros sopladores», sin duda por alusión al soplo de las ballenas.

Las algas incrustantes se aprovechan de esta agua que penetra en el coral. Crecen a veces sobre las crestas de los arrecifes situados muy por detrás de la cresta frontal en la que se encuentran normalmente. Es una de las formas que tienen de extender su espacio habitable.

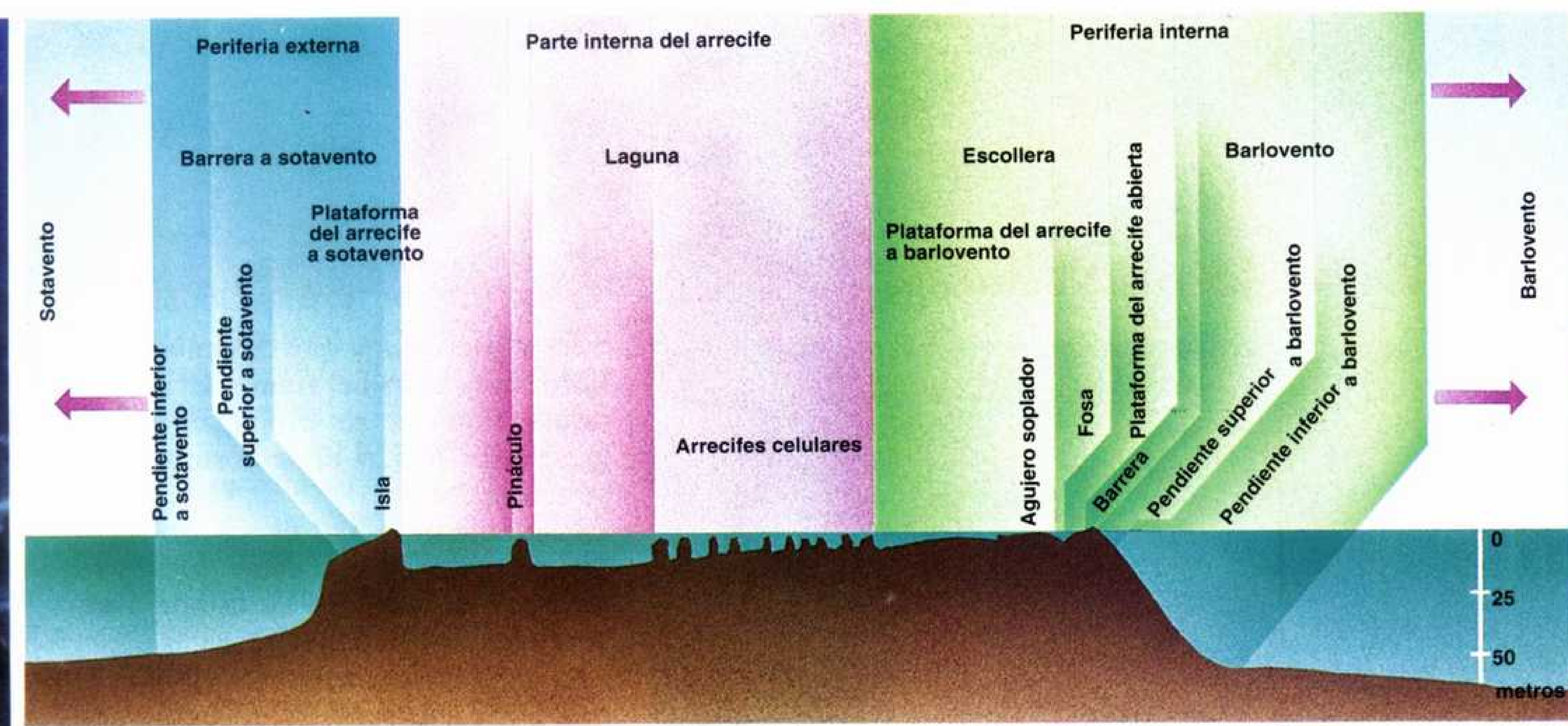


Los escalones del arrecife

Se asocian a menudo los vientos alisios con los arrecifes, y no es erróneo hacerlo. Los corales crecen en los mares cálidos, preferentemente en la zona de los alisios. Estos vientos, generalmente regulares, soplan del nordeste hacia el sudoeste en el hemisferio Sur. En el océano Pacífico, los alisios son muy «fieles». En el Atlántico y en el Indico faltan durante algunos períodos del año.

En las regiones de alisios constantes, los arrecifes coralinos tienden a adquirir una estructura particular. Se distingue un frente a barlovento y otro a sotavento. La zona a barlovento sometida durante todo el año a la acción de las olas y de sus embestidas, toma el aspecto de una sucesión de pilares y de murallas verticales muy robustas: el movimiento del mar estimula el crecimiento de los celentéreos (y de sus coronas de algas incrustantes). La región a sotavento se asemeja, por el contrario, a una sucesión de crestas de contornos suaves y de geografía muy compleja. Ocurre habitualmente que el arrecife constituido de esta forma adquiere una estructura circular: la zona a barlovento se refuerza y protege una laguna de aguas tranquilas, que otros corales pueden cerrar parcial o totalmente en la región a sotavento. Nos encontramos entonces ante un atolón.

El modo de formación de os atolones intrigó durante mucho tiempo a los naturalistas. Estas estructuras surgen en medio de regiones del océano cuya profundidad alcanza 1.000, 2.000 metros o incluso más. ¿Cómo pudieron nacer estos edificios, teniendo en cuenta que los corales cons-

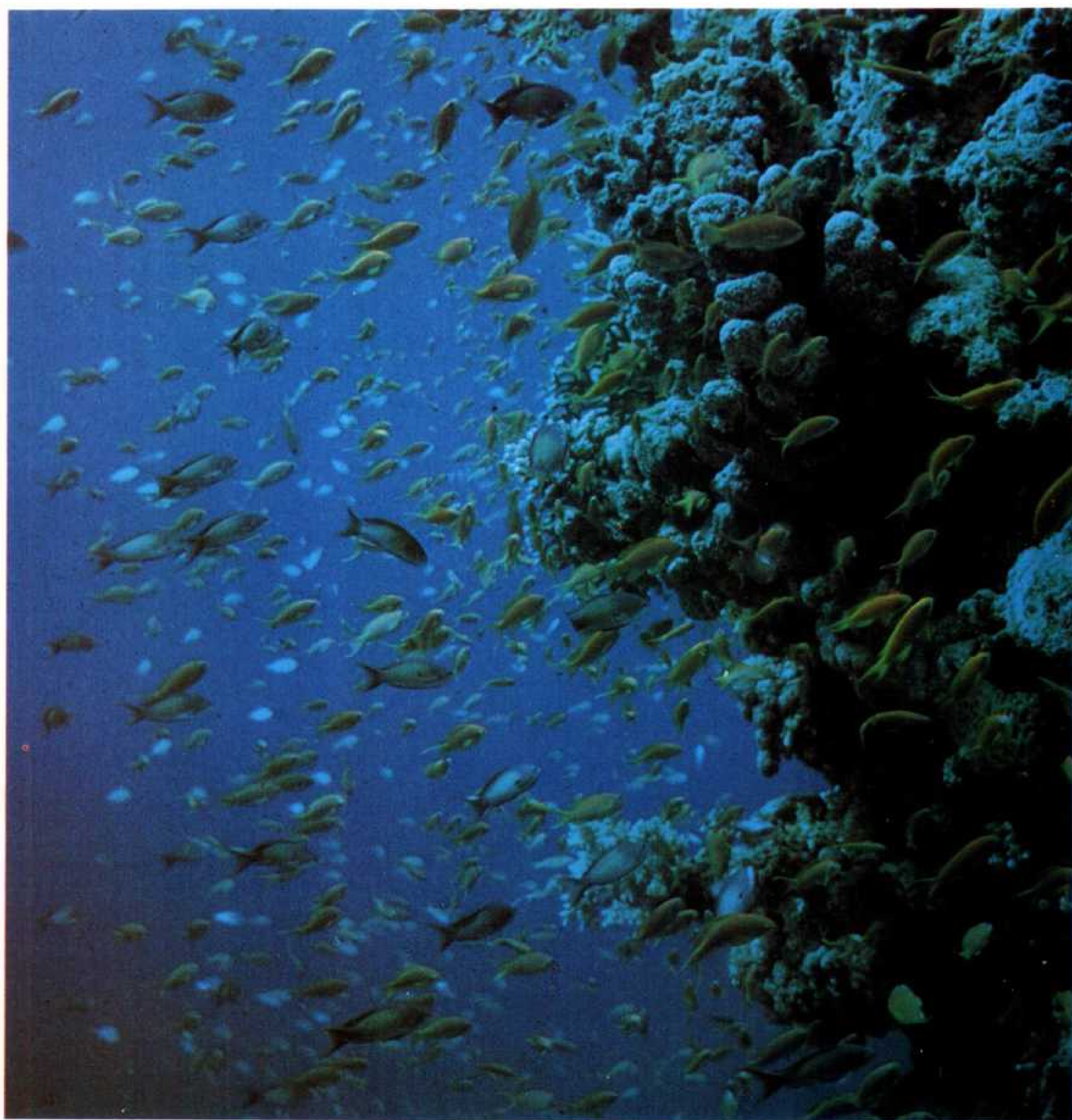


tructores mueren en su mayoría por debajo de los 30 ó 40 metros de profundidad? El primero en formular una respuesta adecuada fue Charles Darwin: Evidentemente, dice el gran naturalista inglés, los «faraones del mar» construyen sobre volcanes marinos. Pero esto no es tan simple. Si bien ya ha sido comprobado que todos los atolones tienen una base de rocas plutónicas, se observan, no obstante, zócalos de corales a varios centenares de metros bajo la superficie. ¿Cómo se encuentran a tales profundidades? Darwin demostró que esto puede ocurrir de dos maneras. En algunos casos, los restos de corales provienen de una actividad biológica de superficie, que tuvo lugar hace muchos siglos, durante una fase de regresión marina, es decir, durante una glaciación, en un período en el que el nivel general del mar se hallaba a 50, 100 o hasta 170 metros por debajo del actual. En otros casos —los más numerosos—, la explicación es de tipo mecánico. Un volcán submarino acumula sus depósitos eruptivos hasta alcanzar la superficie. Los corales pueblan entonces el contorno del cono y empiezan a edificar el arrecife. Su peso alcanza rápidamente tal magnitud que provoca el asentamiento del volcán; los corales inferiores son llevados a profundidades que les impiden la supervivencia.

Todos los arrecifes coralinos no pertenecen al tipo volcánico. Algunos —los más majestuosos, como la Gran Barrera australiana o el arrecife de Belice, en el mar Caribe— están edificados en los bajos fondos de la plataforma continental. Se pueden asemejar a los arrecifes en flecos que encontramos en las cercanías de algunas grandes islas, como la de Nueva Caledonia. Estas edificaciones marinas resultan de la acumulación de caliza coralina sobre zócalos compactos. No provocan el derrumbamiento periódico de su soporte, como los atolones de base volcánica. Su estructura depende mucho menos de los vientos dominantes que de la geología local. Generalmente están formados por una alternancia de espesos pilares de cinco a 20 metros de anchura, y de canales radiales, de uno a 10 metros de anchura. Estos canales, que pueden alcanzar decenas de metros de longitud, tienen una pendiente de unos 20°. Permiten al agua oceánica penetrar dentro del arrecife.



Las diferentes zonas del arrecife. *El esquema de la página de la izquierda muestra cómo se organiza el arrecife de coral en función de la dirección de los vientos dominantes. A barlovento, la pendiente es fuerte y la acción de las olas muy brutal. La laguna, bien protegida, alberga una fauna y una flora muy particulares. A sotavento, la pendiente del coral es más suave. A la izquierda: peces mariposa nadando sobre un gran campo de corales en paraguas del género* Acropora. *Abajo: peces cirujano pasan ante la pendiente de un arrecife a barlovento.*



Las plataformas coralinas

LAS plataformas coralinas están lejos de ser llanas. Formadas por arrecifes en flecos, están en gran parte descubiertas, y podemos saltar de un bloque de coral a otro, salvando canales de aguas poco profundas. Sin embargo, un ejercicio de este tipo no está exento de riesgos: algunos políperos cortan como cristales y es conveniente no caerse...

De manera general, las plataformas coralinas pueden dividirse en las siguientes zonas características (empezando por barlovento):

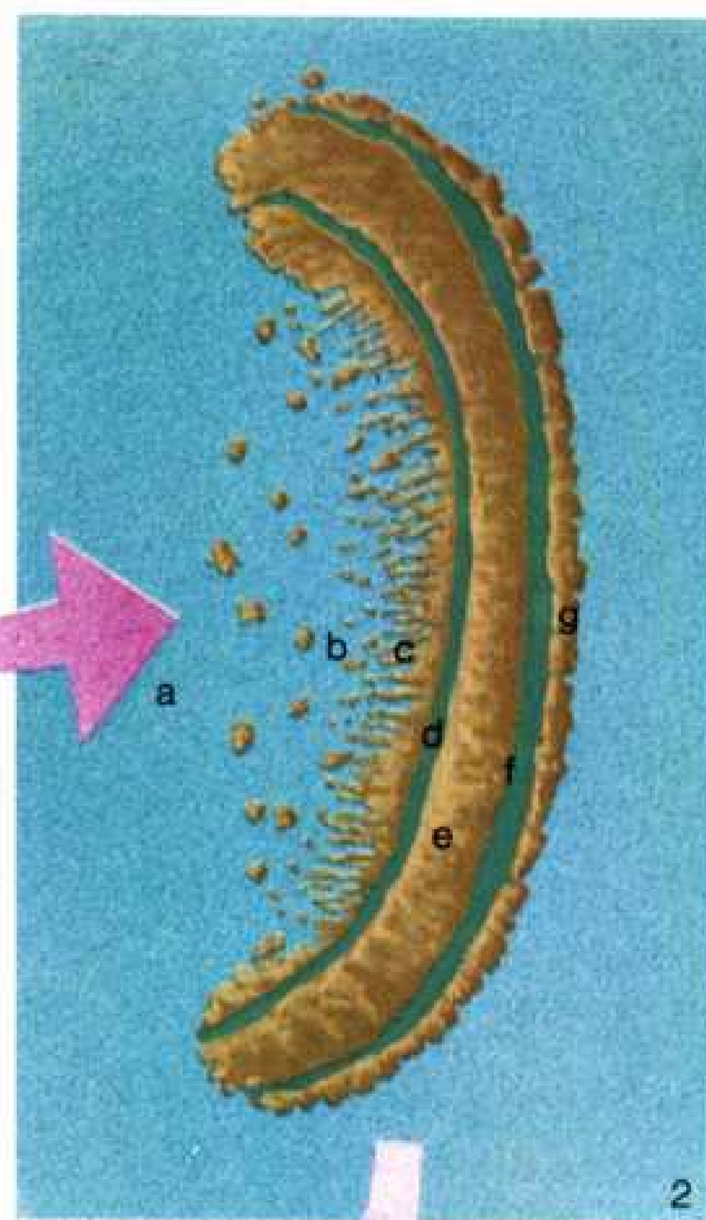
1. La zona de los contrafuertes y de los canales radiales. Es aquí donde el coral crece más rápidamente, hasta el nivel de la bajamar de las grandes mareas de equinocio. Forma sólidos pilares, separados por canales radiales en los que penetra la onda líquida para llegar al centro de la plataforma.
2. El canal externo: es la prolongación de los contrafuertes de la plataforma, y se debe a los torbellinos de las olas que golpean a la muralla coralina. De una profundidad de uno o dos metros, tiene una anchura muy variable. Está forrado por varios tipos de corales constructores y de numerosas algas incrustantes.
3. La cresta del arrecife, o dobladillo de *Lithothamnium*. Es la zona de crecimiento principal de las algas coralinas. Los *Lithothamnium* y sus parientes abundan desde la línea de nivel medio de las mareas, y forman en el frente del cuerpo central del arrecife un escudo protector, muy eficaz frente a la acción destructiva de los ciclones y de las poderosas olas de las tempestades.
4. El canal interno. Se trata de un segundo canal paralelo a la línea del frente del arrecife y cuya función principal es el drenaje de agua excedente. Su profundidad media es de 80 centímetros. Está forrado por corales especializados en el «aprovechamiento» de las aguas poco profundas y muy iluminadas, como algunos representantes del género *Acropora*, cuyo nombre vulgar de «cuernos de ciervo» describe su aspecto general. El canal interno, de aguas muy oxigenadas y relativamente tranquilas, es un paraíso para los peces (peces mariposa, peces cirujano, peces ángel, etc.), para las conchas, para los moluscos nudibranquios, en una palabra, para las joyas de los mares del Sur.
5. La zona de arena. Se trata de una franja de terreno de anchura variable, formada (como indica su nombre) por arenas de origen coralino, acarreadas hasta allí por las tempestades, y mezcladas con fragmentos de políperos de todas las dimensiones en tales cantidades que emergen y forman un islote.

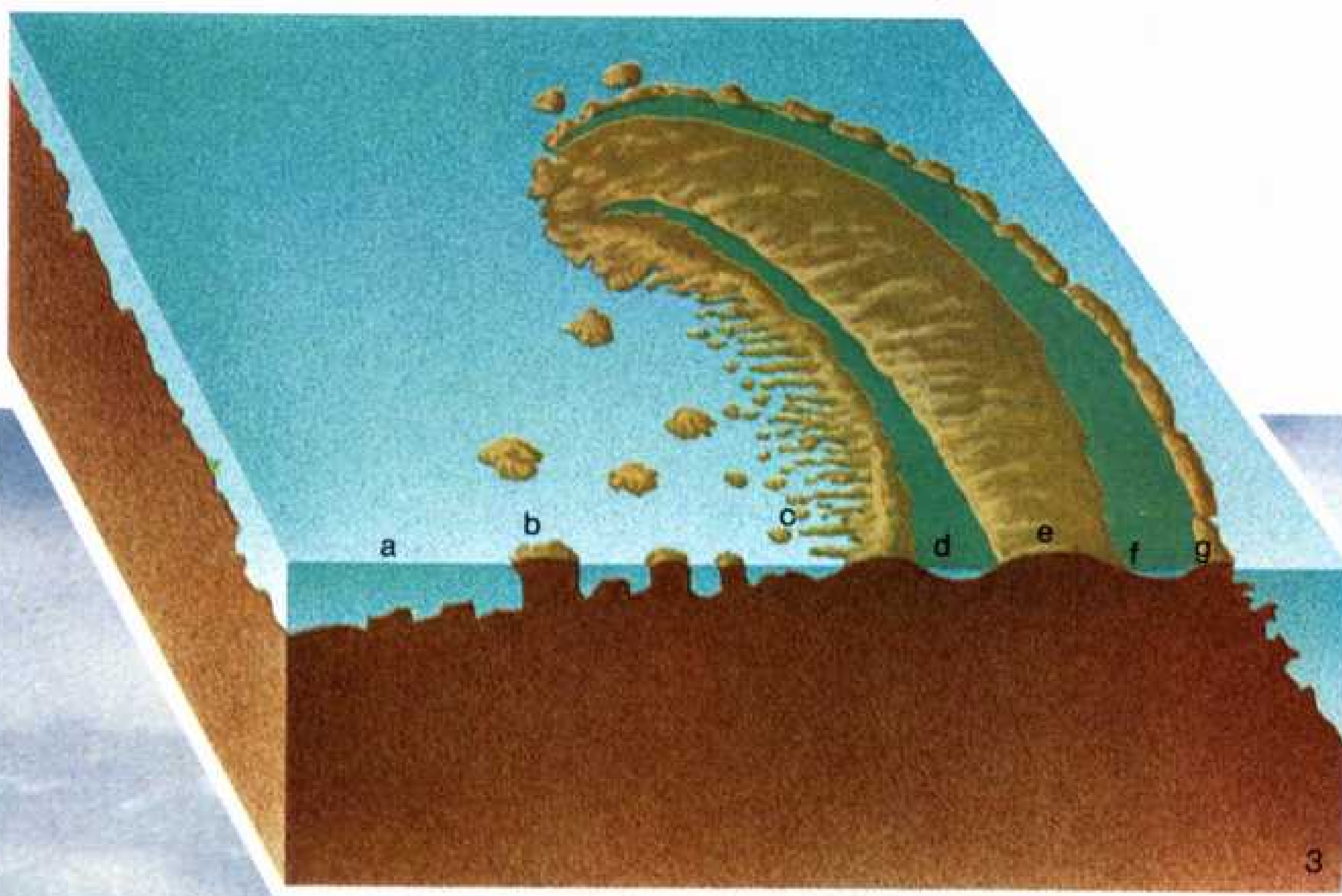
No es raro entonces ver cómo los vegetales (sobre todos los resistentes y omnipresentes cocoteros) intentan colonizarlos; a veces lo consiguen de forma permanente; en otras ocasiones son barridos por un ci-



Una típica barrera de coral. A pesar de grandes variaciones individuales, todas las barreras coralinas presentan una estructura común. En los esquemas adjuntos vemos en (1) la forma general de la barrera, con su canal externo e interno; en (2), detalle de un arrecife de la barrera exterior; en (3), el mismo detalle, presentado en elevación para apreciar mejor sus partes. Encontramos sucesivamente, partiendo de la región a sotavento, el canal interno (a), la región de los pináculos (b), una zona de arenas y de detritos (c), el canal externo (d), la cresta del arrecife (e), el canal externo (f) y los contrafuertes a barlovento (g). Página de la izquierda: una barrera de coral en la isla de Palau. Abajo: en la Micronesia.







ción que remodela completamente el aspecto del banco de arena.

6. La zona de las cabezas de coral y de los pináculos. Detrás de la zona de arena encontramos, entre uno y 20 metros de profundidad, una región de aguas muy tranquilas, pero poco oxigenadas, a las que se han adaptado muchos corales que se aglomeran constituyendo espesas cabezas de setas, coliflores, alcachofas, etc. Estos corales no forman arrecifes de un solo tipo, como los de las barreras a barlovento, sino sistemas discontinuos en el seno de los cuales proliferan las gorgonias, las conchas, los equinodermos y los peces multicolores. Entre las cabezas coralinas se acumula una arena irregular, mezclada con detritos orgánicos (fragmentos de algas y de animales muertos) y con diversas conchas.

Toda esta zona interna es recorrida con retraso por las ondas de mareo que aportan aguas ya empobrecidas en oxígeno y en nutrientes. Sin embargo, la tranquilidad de la que gozan las especies que la colonizan la convierte en un santuario animal de una gran riqueza y de una determinante importancia ecológica.

Los baluartes y los islotes

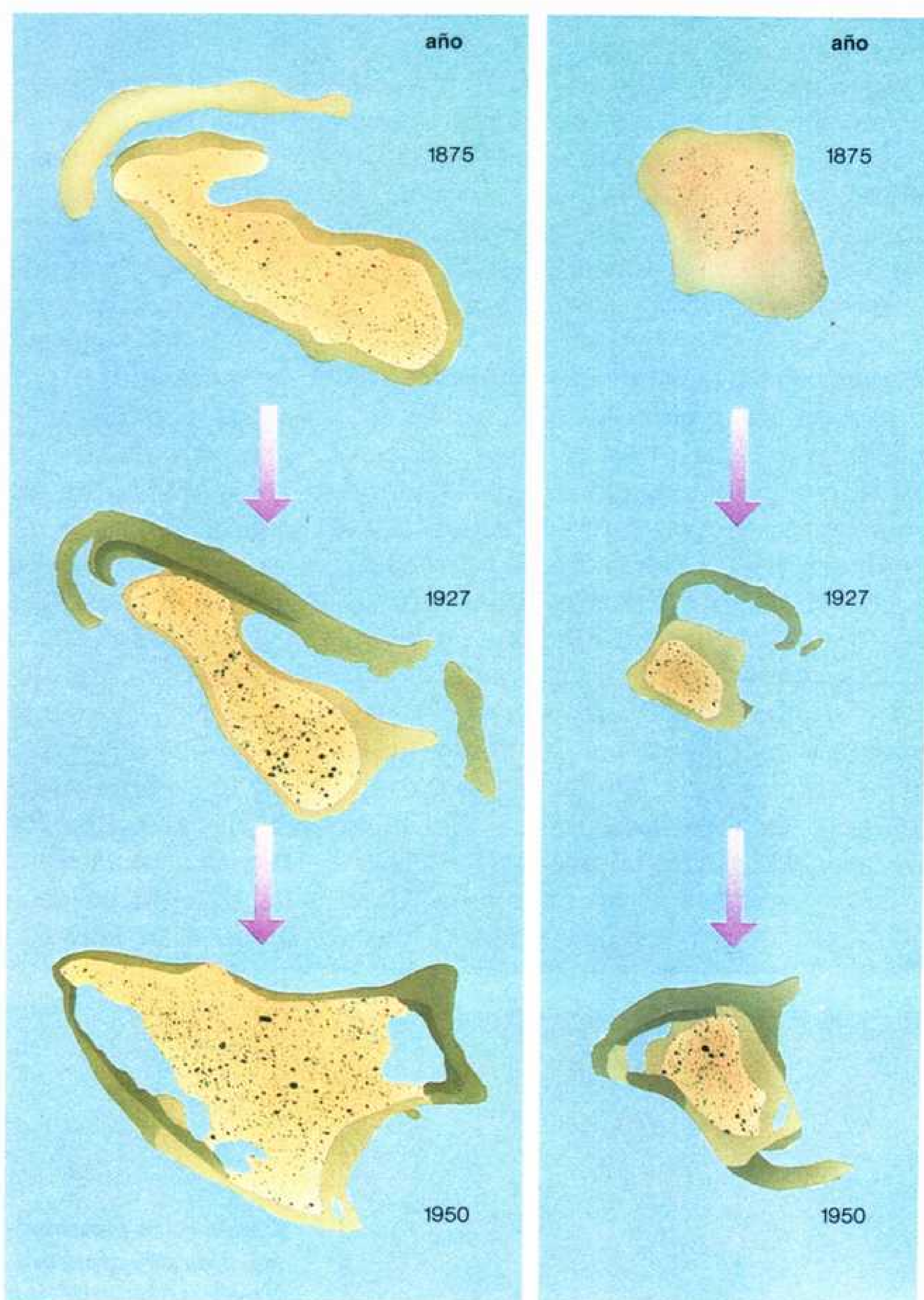
En algunas regiones de los sistemas de arrecifes circulares, allí donde la fuerza de los vientos dominantes, de los ciclones y de los tifones se concentra en torbellinos, los detritos se aglomeran y forman sólidos baluartes. Se trata de islotes de pequeñas dimensiones, constituidos por una mezcla concrecionada de arena, guijarros coralinos y fragmentos de arrecife, que tienen el aspecto de fortificaciones o castillos y que se alzan en medio del agua. Según la altura de la marea, se elevan uno, dos o hasta tres metros por encima de la superficie, y son utilizados con frecuencia como substrato por las plantas y los pequeños arbustos tropicales. Las aves marinas los frecuentan en gran número y los transforman a veces en islotes de guano.

En ocasiones, tempestades especialmente violentas destruyen los bastiones en formación, sobre todo si se trata de estructuras de guijarros todavía poco soldadas. En estas condiciones asistimos a la formación de una serie de bancos secundarios característicos «en martillo». La «cabeza» está constituida por los restos del baluarte derrumbado, mientras que el «mango», alargado y estrecho, se compone de guijarros más pequeños que la tempestad ha empujado a decenas y hasta a centenares de metros.

Allí donde abundan las algas coralinas, los baluartes se aglomeran mucho más rápidamente y con mayor solidez. Las incrustaciones calizas de la *Lithothamnium* y de sus semejantes desempeñan el papel de un auténtico cemento. El islote se hace indestructible en estas condiciones, por muy potentes que sean los tifones. Los arrecifes menos expuestos a las tempestades y a los ciclones no se ven amputados de trozos lo suficientemente grandes como para constituir baluartes o islotes. Ciertamente son atacados por la acción erosiva de las olas, pero sólo se desprenden partículas de arena. Estas se acumulan a sotavento, en bancos de dimensiones variables. Estos bancos son muy inestables; cada perturbación acuática (grandes mareas, etc.) los remodela, modifica su contorno. A veces llegan a desaparecer en unas pocas horas o días. Un pequeño número de ellos gozan de unas condiciones tan favorables que consiguen crecer y luego emerger. Si los cocos llevados por las corrientes llegan a ellas, pueden germinar; las raíces de los cocoteros fijan entonces con fuerza lo que se ha transformado en una isla de arena. Otras plantas, en especial gramíneas, contribuyen a la estabilización del islote. Este tipo de islas de arena se en-





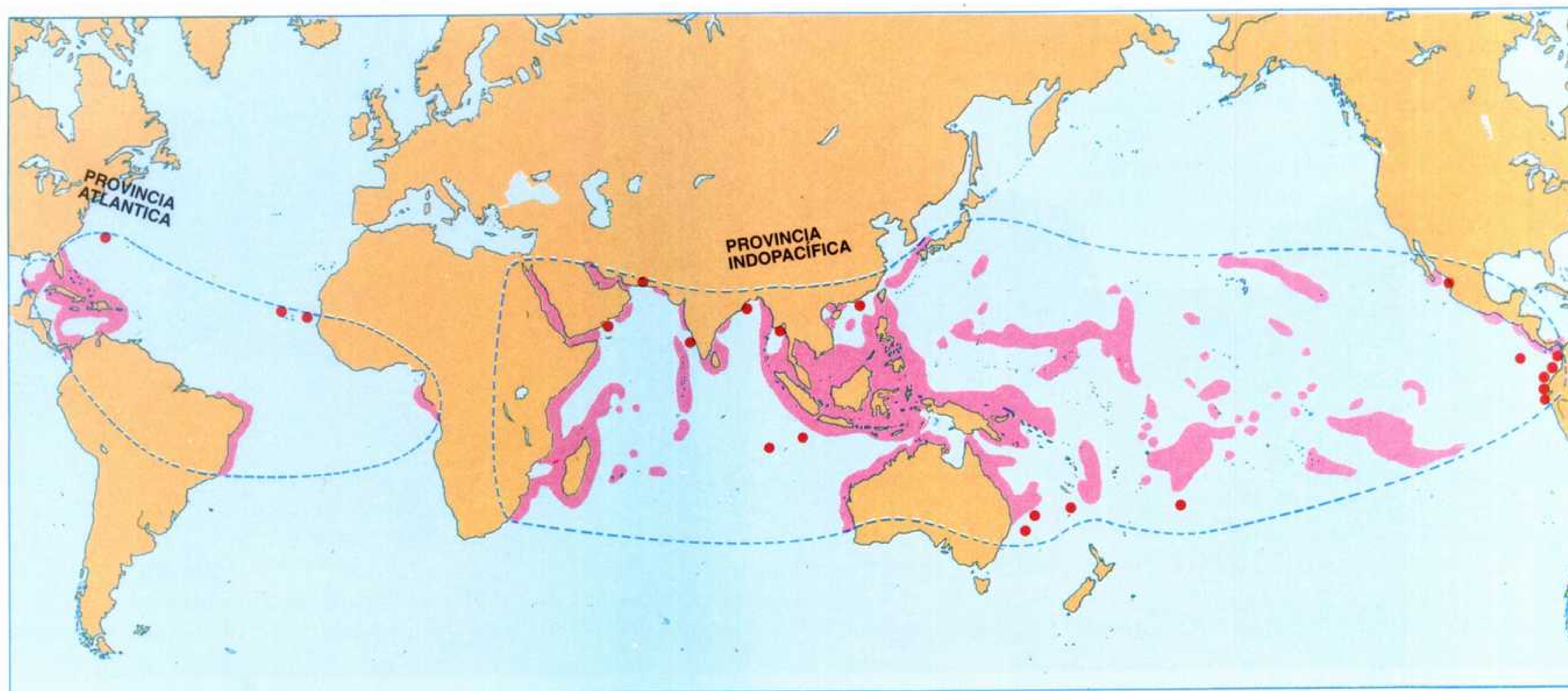


Los islotes coralinos. *Los mapas de arriba muestran la evolución de dos islotes coralinos de Indonesia, situados al este de Java. A la izquierda, el de Mjamuk Besar (o Leiden); a la derecha, el de Air Ketjil (o Haarlem). La influencia de los vientos dominantes aparece perfectamente en la forma en la que los diferentes elementos se organizan los unos con respecto a los otros. Página de la izquierda: un islote de la barrera de Nueva Guinea: la dirección del viento se encuentra materializada por las líneas en la arena. En esta página, el islote Kiriwisa, también en Nueva Guinea.*

cuentra en todos los mares cálidos, pero caracteriza especialmente a las Bahamas, en alta mar frente a Florida, y a las islas del Caribe; los cayos *(keys)* de Florida constituyen los ejemplos más famosos. La arena, colonizada por los vegetales, padece en seguida la acción química del agua de lluvia, que tiene entre otros el efecto de provocar la lixiviación del carbonato cálcico (en presencia de ácido húmico). La arena se endurece, se apelotona y acaba por formar una roca dura. Este proceso es bastante rápido en las condiciones climáticas tropicales; se han encontrado huellas de actividades humanas «fosilizadas» de esta manera después de unos pocos siglos. Una vez que se ha constituido el núcleo sólido del islote, prosigue la acumulación de arena a su alrededor; las plantas pioneras siguen también enviando representantes a estos espacios. Depósitos de lodos orgánicos se unen muy a menudo a la arena en una zona de la isla; se observa entonces el nacimiento de un manglar de vegetación típica.

Por supuesto, todos estos procesos son extremadamente complicados. La eficacia de los corales constructores depende de la limpidez, de la temperatura y de la riqueza del agua en sustancias orgánicas y minerales (especialmente en carbonato de calcio). La estructura del edificio está relacionada con el sentido y la fuerza de los vientos dominantes, que engendran corrientes superficiales, torbellinos, etc. Las diferentes regiones del arrecife se encuentran desigualmente expuestas a la erosión, que destruye rápidamente las barreras más expuestas al viento; pero los materiales arrancados de esta forma van a depositarse, según el capricho de los torbellinos, a sotavento y forman localmente nuevos islotes.

La distribución de los arrecifes



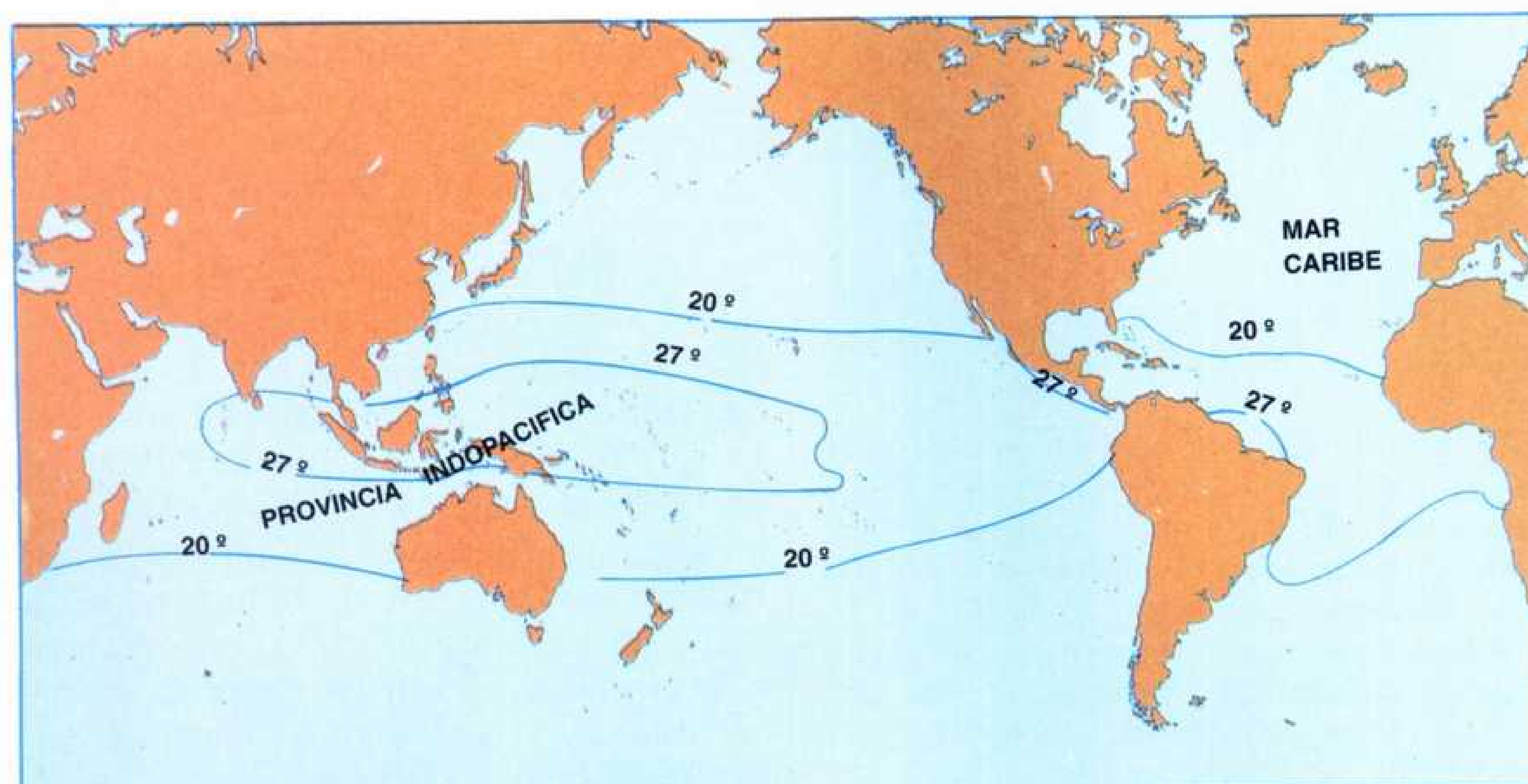
La temperatura mínima del agua que se requiere para el nacimiento de los corales constructores es de 18 °C. Esto explica que los arrecifes sólo se formen en una zona trópico-ecuatorial limitada aproximadamente por los paralelos 37 de latitud Norte y Sur. En términos ecológicos, los corales constructores son estenohalinos (no soportan los cambios de salinidad), estenotérmicos (no quieren grandes diferencias de temperatura) y fotótrofos (necesitan mucha luz). Estas tres exigencias nos permiten trazar fácilmente el mapa mundial de las grandes regiones coralinas.

Sin embargo, existen regiones del océano suficientemente cálidas e iluminadas en las que la concentración en sales no varía mucho, y que no poseen arrecifes. Las razones que explican esta ausencia son de dos tipos. Implican por un lado a la biología de las larvas del coral: éstas permiten la extensión de los arrecifes al formar nuevas colonias. Pero son organismos planctónicos (de tipo plánula), especies de micromedusas cuya dispersión depende de las corrientes. Allí donde no existe ninguna corriente favorable las larvas no son transportadas y los arrecifes no se forman aunque se encuentren presentes las demás condiciones ecológicas.

El segundo factor limitante es de índole química. Para constuir sus políperos, los corales emplean carbonato de calcio, que encuentran disuelto en el agua del mar. Aunque este compuesto es relativamente abundante en las capas inferiores del océano, se agota rápidamente en el estrato superficial. Se renueva mediante ascensiones de aguas profundas, permanentes o frecuentes en algunas zonas, pero ausentes de otras. Los corales crecen abundantemente en los primeros biotopos y son escasos en los segundos.

Las grandes regiones coralinas del globo son, por una parte, la provincia Atlántica y, por otro lado, la provincia Indo-Pacífica. La primera es famosa fundamentalmente por los arrecifes de las Bahamas, de las Antillas y de América Central (Belice), aunque también posee interesantes conjuntos cerca de Venezuela, Brasil, Angola y Namibia.

La provincia Indo-Pacífica es, con diferencia, la más rica. Tiene por centro el archipiélago indonesio, en el que decenas de miles de islas ofrecen lugares favorables a la proliferación de los corales (aunque no puedan crecer cerca de la desembocadura de los numerosos ríos de esta región debido a la excesiva turbiedad de las aguas). En el océano Indico y sus mares adyacentes nos encontramos con maravillosos fondos coralinos desde Madagascar al mar Rojo, pasando por las Seychelles, y desde las islas Mascareñas al golfo Pérsico, pasando por las Maldivas. En el océano Pacífico podemos explorar desde arrecifes famosos (como la gran Barrera Australiana) hasta semilleros de magníficos atolones desde Melanesia a las islas Hawai.



Dónde viven los arrecifes. *Los arrecifes coralinos sólo pueden constituirse en las aguas cuya temperatura media sobrepase los 18 °C en el mes más frío. En la práctica, este hecho les obliga a crecer en las regiones oceánicas comprendidas entre los paralelos 37 Norte y Sur. Los mapas de esta página muestran la estrecha correlación existente entre la temperatura media del agua y la abundancia de corales. Estos se desarrollan fundamentalmente en dos provincias biogeográficas diferentes: la Atlántica, por una parte, y, por otra, la Indo-Pacífica.*

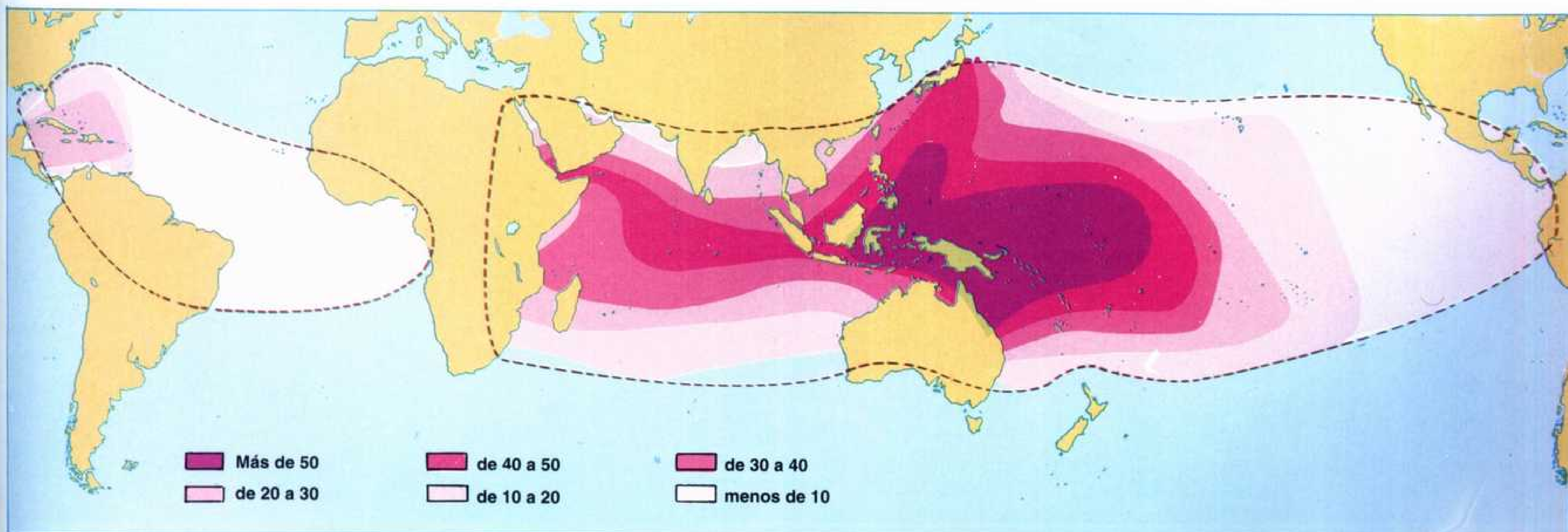








La distribución de los corales constructores. *Existe un gran número de géneros diferentes de corales constructores. En algunas regiones encontramos sólo unas cuantas; en otras, varias decenas, como lo muestra el mapa de abajo. La región más rica es, con gran diferencia, la que se extiende desde Micronesia hasta las Filipinas y Australia. Las fotografías de corales de arriba fueron tomadas (de arriba abajo y de izquierda a derecha) en fondos de California, Australia, las islas Andamán y el mar Caribe.*



Las transgresiones y agujeros azules



Los antiguos arrecifes. Levantados por una regresión marina o por movimientos tectónicos, aparecen actualmente con claridad. Al lado, un ejemplo de arrecife levantado que domina ahora la superficie del mar desde casi cinco metros de altura. Abajo: en algunas zonas de arrecifes antiguos, esculpidos por la lluvia y sumergidos nuevamente, encontramos pozos llamados agujeros azules (aquí, en las Galápagos).

La historia geológica del Cuaternario nos muestra la existencia de grandes ciclos climáticos de unos 100.000 años que corresponden, *grosso modo,* a ciclos de actividad solar, a su vez ligados probablemente al paso de nuestra región galáctica por nubes de polvo espacial. Las glaciaciones siguen así a períodos interglaciares. La última glaciación tuvo su punto culminante hace 17.000 años. El nivel del mar era entonces 170 metros inferior al actual. La subida de las aguas terminó hace alrededor de 6.000 años.

Estos movimientos sucesivos de retiradas (regresión) y avances (transgresión) de las aguas marinas ejercieron evidentemente una gran influencia sobre los ecosistemas coralinos. Cuando el nivel desciende, los políperos de la parte superior del arrecife mueren, ya que están expuestos a la sequedad y al calor de la atmósfera. Cuando el agua vuelve a subir, una parte de los corales desaparece al faltarles la luz.

Algunas barreras coralinas, extremadamente complejas, han tenido tiempo de constituirse durante una fase de regresión marina. Luego fueron sumergidas durante la subida de las aguas a la siguiente interglaciación; encontramos así, a varias decenas de metros de profundidad (en el mar Rojo, en los archipiélagos de las Maldivas y las Laquedivas, cerca de las islas Houtman y Rottnest, en la costa occidental de Australia, y también en las Bermudas y en las Bahamas), formaciones sumergidas de una sorprendente amplitud. Por el contrario, los arrecifes que se constituyeron durante una fase interglaciar, en el transcurso de la cual el nivel del mar era más alto que el actual (más de tres metros), tienen hoy la cabeza al sol...

En las regiones calizas, aunque no obligatoriamente de origen coralino, las aguas de lluvia, ligeramente ácidas, atacan el relieve. Excavan pequeñas hoyas (dolinas) y pozos *(avens),* se infiltran por las fisuras y las ensanchan. Abren cuevas, sobre el suelo de las cuales depositan estalagmitas y en el techo de las cuales cuelgan estalactitas. Estos procesos duran milenios. Puede ocurrir que afecten a calizas situadas al borde del mar.

Las aguas de lluvia excavan simas en estos sistemas kársticos en el transcurso de los períodos glaciares, cuando el nivel del mar es muy bajo. Cuando los casquetes polares se derriten y el océano sube de nivel, estos relieves quedan sumergidos. El orificio de las simas se puede ver entonces con claridad bajo la superficie, formando una mancha redondeada de color azul oscuro que destaca con nitidez sobre el fondo azul claro del mar que la rodea. Se ha llamado a estos orificios «agujeros azules» y se ha pretendido a veces que son insondables. Se encuentran especialmente en el archipiélago de las Bahamas, cerca de Honduras, y en las islas Abrolhos, en Australia occidental. El equipo del *Calypso* exploró varios mediante inmersiones en las Bahamas y en Honduras. Demostró que su profundidad rara vez sobrepasa los 100 metros y que, efectivamente, al igual que en los *avens* y las cuevas de las regiones calizas continentales (Causses, etc.), se encuentran en ellos estalactitas y estalagmitas.



Los invertebrados inferiores

Los animales de origen más antiguo

TRAS la aparición de los primeros protozoos sobre la Tierra se presentaron dos posibilidades: las nuevas células que se formaban durante la reproducción podían separarse, continuando así como protozoos, o podían permanecer unidas entre sí formando animales pluricelulares, llamados metazoos. Es ésta una etapa fundamental de la evolución, pero no hay motivo para pensar que no se habría verificado en cuanto los protozoos empezaron a reproducirse.

Una vez alcanzado el estadio de metazoo, había de nuevo dos posibilidades. Los miembros de la colonia podían conservar su individualidad aun renunciando a buena parte de su libertad, como en el caso de las esponjas. Que se trató de un programa de colaboración que tuvo éxito lo demuestra la abundancia de esponjas en nuestros días; sin embargo, no se puede aducir como una «gran etapa de la evolución», porque no ha llevado a ninguna parte. La segunda posibilidad comportó la unión de todas las células en un sistema con una cooperación completa, pero con pérdida de la individualidad. Se pueden imaginar los diversos modos en que las células podrían haberse dispuesto, pero lo que realmente pasó es que parece que se produjeron dos estratos, que delimitaron una esfera cóncava. El estrato interno es el endodermo, y el externo el ectodermo; la boca es la abertura que da paso a la cavidad central digestiva. Estas son las características fundamentales de los celentéreos.

Si se comparan los celentéreos con las esponjas, se ve que los miembros primitivos del primer grupo eran, en teoría, organismos libres, flotantes. Esta convicción la avala el hecho de que las medusas existían en el Cámbrico. Las esponjas, en cambio, eran sésiles, como muestran los ejemplares fijos procedentes de la misma formación. Libertad y progreso contrastan así con la estabilidad y el desarrollo vegetativo.

Los celentéreos habían adquirido una cavidad digestiva. El sucesivo paso adelante de gran alcance fue la formación del mesodermo y de una cavidad corpórea (el celoma). Fue éste un cambio de organización tan profundo que hay que admitir que se necesitó tiempo para realizarlo, aunque esta admisión expresa sólo nuestra ignorancia de los lazos que unen a los celentéreos primitivos con los celomados primitivos. La transición parece haberse efectuado de un organismo pelágico a uno bentónico, que vivía en el fondo del mar: de un género de vida natatorio o flotante a otro reptante. El cambio físico se produjo de una forma más o menos esférica a otra alargada, de la simetría esférica a la simetría bilateral.

Una vez establecido el estadio de celomado (cavidad corpórea con tubo digestivo dentro), se habían cumplido todas las «grandes fases» de la evolución. Algunos grupos, como los briozoos, los braquiópodos, los equinodermos y los moluscos, han ido retrocediendo desde entonces y sólo dos, artrópodos y cordados, superaron la condición de sus antepasados.

De ello se deduce que, si hubiera que agrupar a los animales en supertipos, sólo habría que reconocer cuatro: los protozoos, los poríferos, los celentéreos y los celomados. No parece haber razón alguna para que los protozoos, los poríferos y los celentéreos no deban de haber tenido un origen prácticamente contemporáneo. Habría que recordar que los primeros representantes de todos los tipos estaban probablemente desprovistos de esqueleto y, por tanto, su cronología nunca podrá conocerse exactamente.

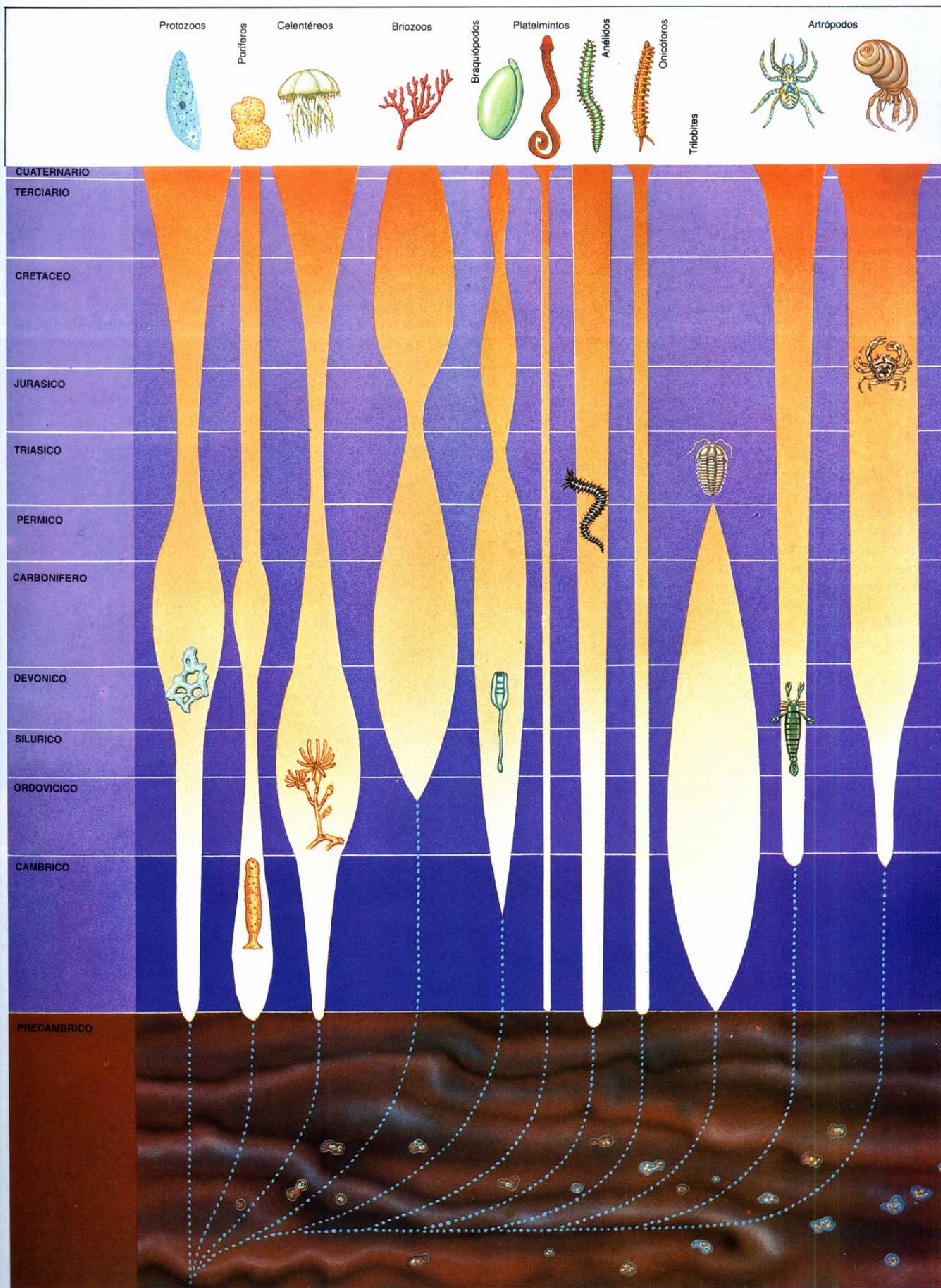
Una mirada retrospectiva a la fauna y a la flora del Precámbrico y del Cámbrico inferior sugerirá la idea de que, después de todo, las plantas y animales de entonces eran simples. Todavía no existían los vertebrados y los otros cordados, como tampoco las plantas superiores, artrópodos, moluscos, braquiópodos y equinodermos estaban representados sólo por sus géneros más simples. Por otra parte, los invertebrados inferiores —anélidos, celentéreos y poríferos— tenían ya entonces representantes con una organización casi tan compleja como cualquier otro miembro actual de los mismos tipos.

Del Cámbrico en adelante se efectuó un inmenso proceso evolutivo que nos lleva a una ulterior investigación del origen y desarrollo de los organismos.

Aunque los invertebrados constituyen más del 95 por 100 de las especies animales, sólo los que tenían partes duras están bien representados en los documentos fósiles. Esto hace que se conozca poco de la historia primitiva de la mayor parte de los seres inferiores, a no ser por las pruebas que aportan las huellas e improntas, las galerías excavadas en tierra o los restos fecales.



La evolución de los invertebrados. *Los primeros rastros de invertebrados se conservan en una formación del antiguo Proterozoico de Montana conocida como Belt Series, que se remonta a 1.000 millones de años. En el dibujo de la página siguiente se han trazado las líneas evolutivas de los invertebrados a partir del origen común del caldo primordial. Los estudios de los paleontólogos han logrado definir cuadros evolutivos generales. De los briozoos (a la izquierda), se han encontrado vestigios fósiles en rocas que se remontan a 300-500 millones de años de antigüedad y que son de gran importancia para identificar las edades.*



Protozoos
Poríferos
Celentéreos
Briozoos
Braquiópodos
Platelmintos
Anélidos
Onicóforos
Trilobites
Artrópodos
CUATERNARIO
TERCIARIO
CRETACEO
JURASICO
TRIASICO
PERMICO
CARBONIFERO
DEVONICO
SILURICO
ORDOVICICO
CAMBRICO
PRECAMBRICO

Los poríferos

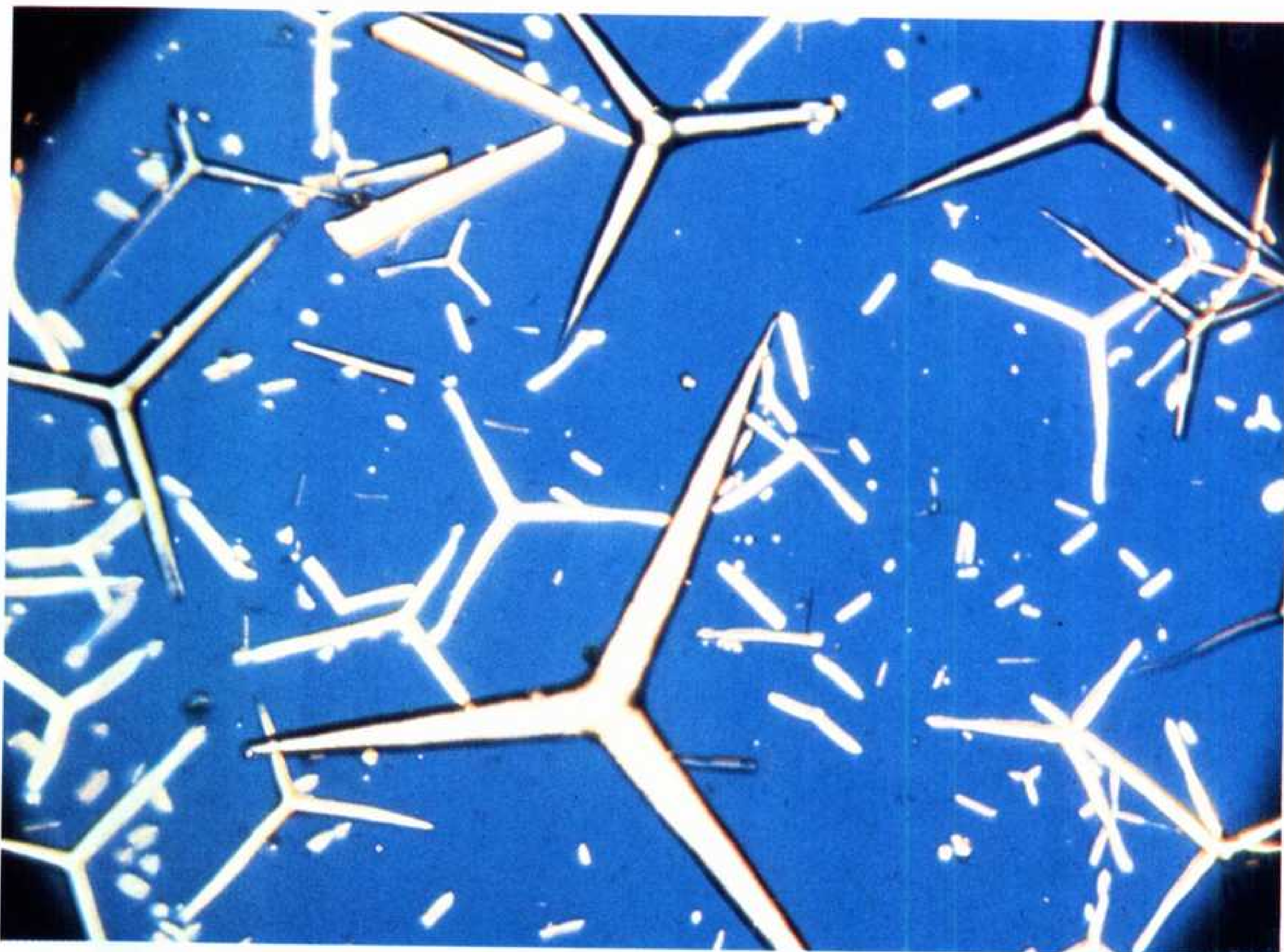
El cuerpo de una esponja consiste fundamentalmente en un agregado en forma de vaso, constituido por varios tipos de células que se adhieren entre sí para hacer un todo único, aun cuando, en realidad, no exista entre ellas ninguna coordinación del tipo «sistema nervioso», como se advierte en todos los demás metazoos. Ya en el siglo XVIII se había observado en las esponjas la inhalación de corrientes de agua, como prueba de su naturaleza animal, de la que se había dudado por mucho tiempo. En 1819 se encontró yodo en sus cuerpos, y esto se adujo para afirmar que debían de ser plantas.

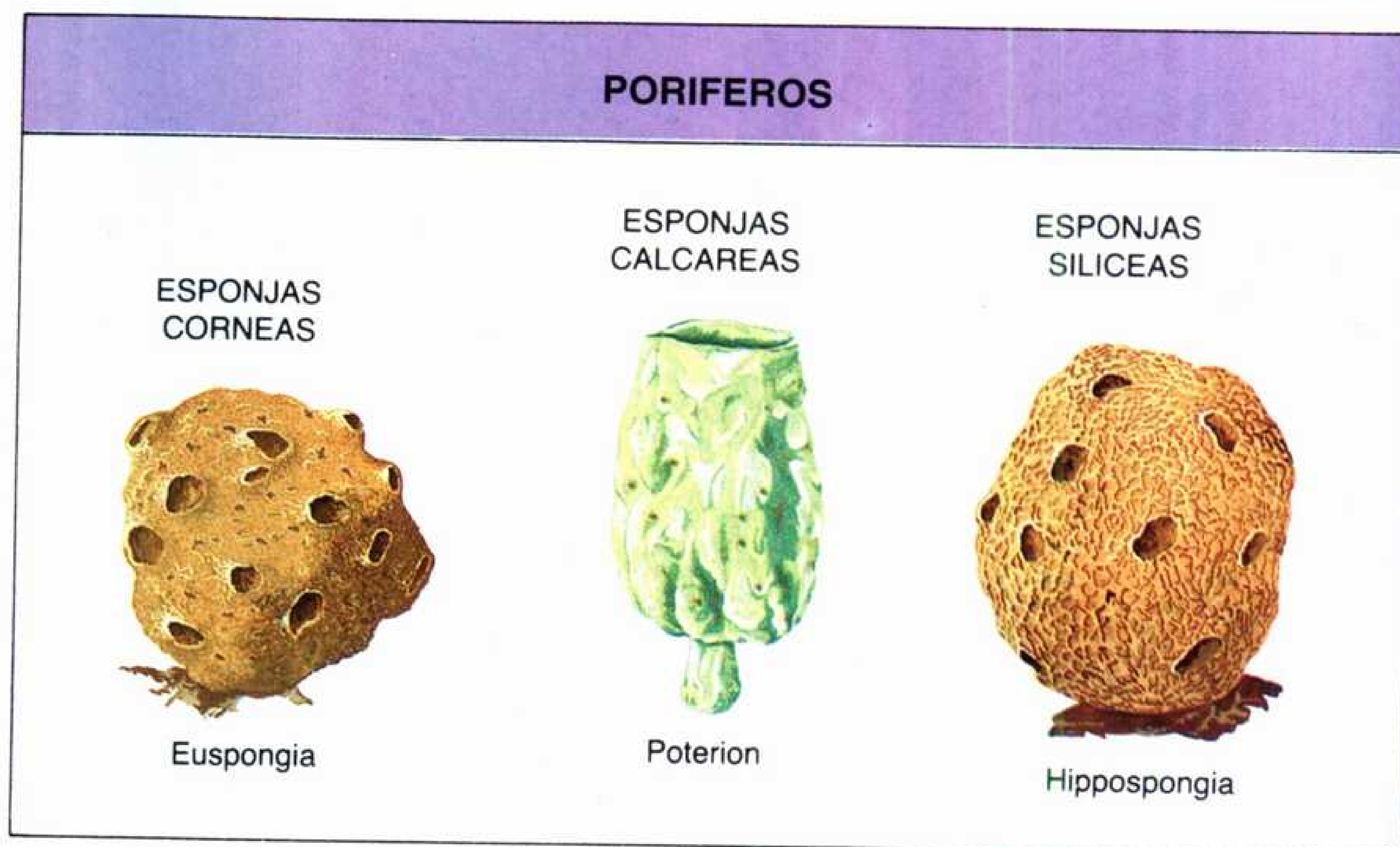
Las esponjas más simples sirven para ilustrar su organización básica. Su cuerpo tiene forma de vaso de simetría radial, cuyo estrato externo consta de células planas no ciliadas. Se trata de células muy contráctiles, como contráctil es todo el cuerpo; pero sus movimientos son ameboides, más que musculares. En ningún porífero se observa musculatura alguna. El estrato más interno consta de células particulares, llamadas coanocitos, cada una con un único flagelo. Por mucho tiempo se pensó que estas células eran patrimonio exclusivo de las esponjas; pero en época reciente se han encontrado también en las larvas de los equinodermos y en las de los corales, llamadas plánulas. Los coanocitos tienen en primer lugar una función alimentaria y de mantenimiento de la corriente de agua: con sus vibraciones mantienen en movimiento un flujo de agua desde el exterior hacia la cavidad. Otra importante característica morfológica de los poríferos es la presencia de una mesoglea gelatinosa, situada entre los dos estratos citados y que contiene muchas células ameboideas, libres para moverse. Es ésta otra indicación del bajo nivel de diferenciación del cuerpo de las esponjas.

Algunos amebocitos son responsables de la secreción de un esqueleto, que consta de espículas, de fibras de espongina o de ambos elementos. Otros dan origen a las células germinales, o bien pueden encargarse de transportar los espermatozoides o de conducir, digerir y almacenar el alimento. De la baja organización de las esponjas da testimonio, sobre todo, más que cualquier otra característica, la ausencia de células nerviosas. Naturalmente, dentro del cuerpo debe de existir un cierto tipo de comunicación, pero ésta se produce probablemente por difusión química, recordando el sistema de comunicación química más evolucionada de los animales superiores. El microscopio electrónico muestra contactos directos entre cada una de las células; quizá facilitan la transmisión de señales químicas.

Una primera clasificación de las esponjas puede basarse en los materiales esqueléticos que proporcionan sostén y protección, esto es, las espículas calcáreas y silíceas. Existen tres clases: la de las calcisponjas, o esponjas calcáreas, que comprenden principalmente formas litorales o sublitorales, con espículas exclusivamente calcáreas, inexistentes en las otras clases; la de las hexactinélidas, que comprenden las esponjas silíceas características de las aguas profundas, con espículas silíceas que pueden estar separadas o soldadas entre sí formando redes esqueléticas de una gran elegancia, y finalmente la de las demosponjas, o esponjas córneas, que comprenden formas en las que el esqueleto tiene una composición variable, estando formado por espículas silíceas o por una secreción dura pero flexible llamada espongina (correlacionada químicamente con los pelos y los cuernos de los mamíferos), o por ambos componentes a la vez. En ocasiones, en esta clase no están presentes ni espículas ni espongina, y el único material de sostén es entonces una sustancia mórbida. Los diversos tipos de estructura esquelética pueden proporcionar armaduras de sostén, a menudo complejas y muy hermosas, aun cuando su función se limite a reforzar el delicado cuerpo de las esponjas. Los esqueletos no presentan junturas, no teniendo así las potencialidades locomotoras de que disponen los esqueletos de los animales superiores.

Todas las esponjas se reproducen sexualmente. Aun cuando cada individuo puede producir indistintamente huevos o espermatozoides, esto ocurre en tiempos diferentes, por lo que nunca se da autofecundación, sino que cabe hablar más bien de una fecundación cruzada.













Las esponjas. *Una primera clasificación de las esponjas la puede proporcionar la naturaleza de las espículas, pequeñas estructuras esqueléticas que sirven de sostén (en la página anterior, vistas al microscopio), en base a las cuales las esponjas se subdividen en córneas, calcáreas y silíceas (esquema de la página anterior, abajo). En esta página, esponjas de distintas formas y colores.*

Las esponjas tienen también excepcional capacidad para reproducirse asexualmente y regenerar las partes lesionadas o perdidas. Todas las esponjas de agua dulce y algunas marinas producen, en efecto, con regularidad cuerpos reproductores asexuales llamados gémulas. Cuando las esponjas con elevadísimas posibilidades de regeneración son exprimidas a través de una gasa, las células separadas se reúnen en acúmulos, y luego en masas aún más grandes hasta dar origen nuevamente a esponjas completas. Cuando las condiciones ambientales son poco propicias para la vida, muchas esponjas comprimen las puntas de sus ramificaciones o simplemente se desintegran, dejando tras de sí masas de células. Estas se redondean, permanecen quietas un cierto tiempo y, al restaurarse las condiciones apropiadas, se regeneran en nuevas esponjas.

Las limitaciones que la inmovilidad impone a las esponjas deben de constituir un factor importante en la esterilidad evolutiva de su organización. Estos animales dependen, para protegerse, de las espículas presentes en la pared corpórea, o de la dura espongina, de la fuerza del chorro de agua exhalante y de la capacidad de contraer los poros inhalantes, impidiendo así que los intrusos penetren en su interior. La locomoción es privativa de las larvas dotadas de flagelos. La esponja adulta es un animal sésil, incapaz de desplazarse en busca de comida, y que para alimentarse depende de los sistemas de canales y de cámaras flageladas tan escasamente organizados.

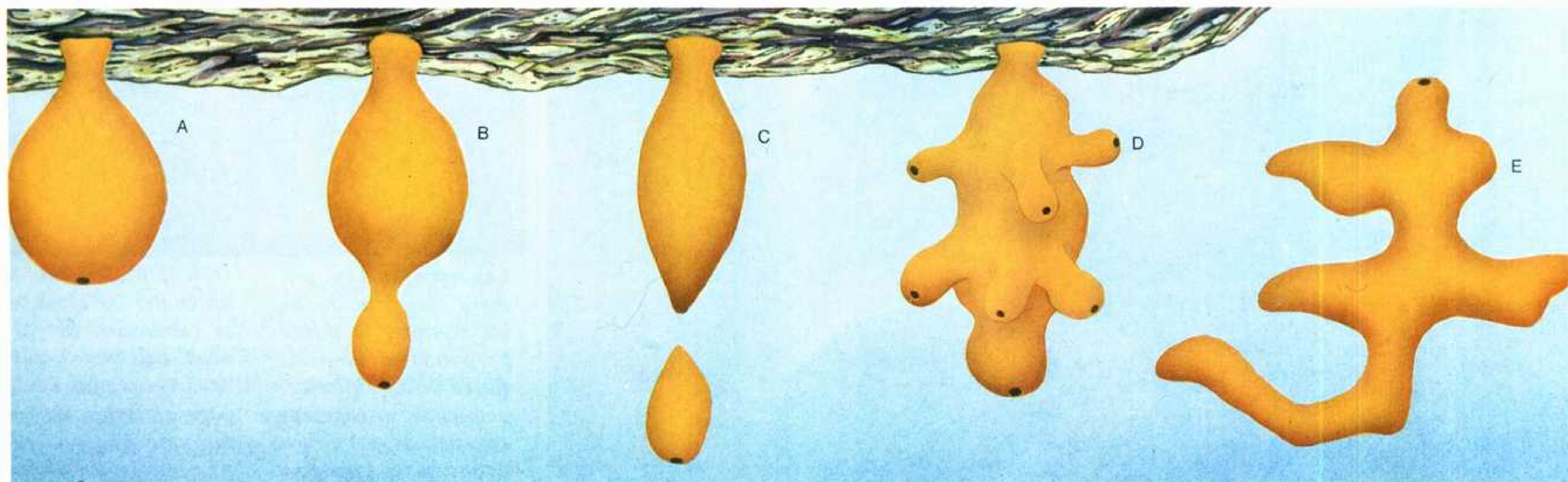
Podemos preguntarnos qué ventajas puede reportar que las células se organicen a nivel tan sumariamente integrado, dado que muchos protozoos son, en cambio, ejemplo del elevado grado de diferenciación que puede lograrse en los límites de un cuerpo uninucleado. Indudablemente, la respuesta hay que buscarla en la mayor dimensión de la estructura resultante, que debe de incrementar la capacidad de resistencia al *stress* físico del ambiente.

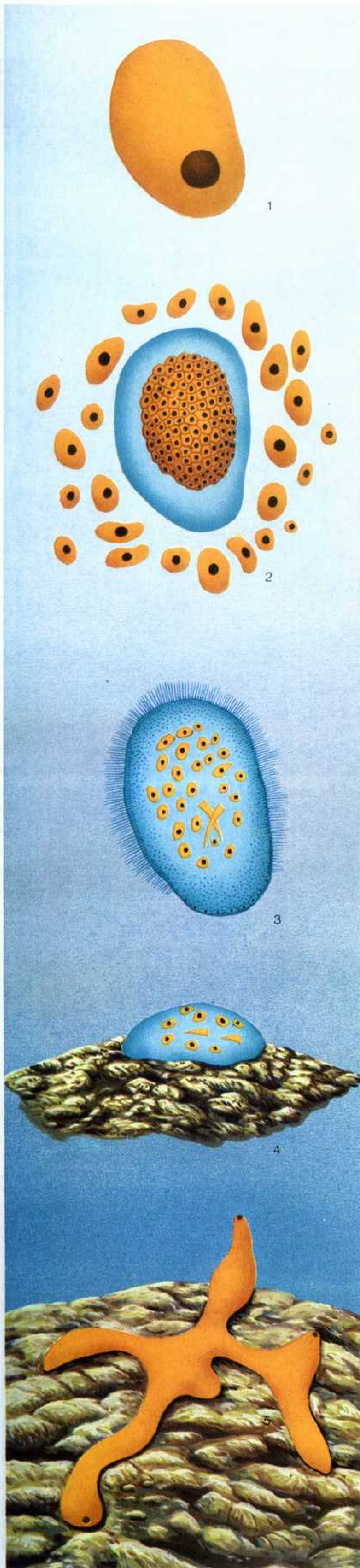
Presentes ya en el Cámbrico inferior, las esponjas debieron de evolucionar en el Cámbrico, mientras que de su abundancia en el pasado dan testimonio los estratos de sílice negro, compuestos en gran parte por espículas de esponja y con un espesor de hasta 100 metros o más. Aun hoy día abarcan algo así como 5.000 especies vivas.

Lo más interesante en estos animales es que su plano de estructura constituye uno de los principales «callejones sin salida» de la evolución animal que, evidentemente, no ha desembocado en ninguna ulterior elaboración.



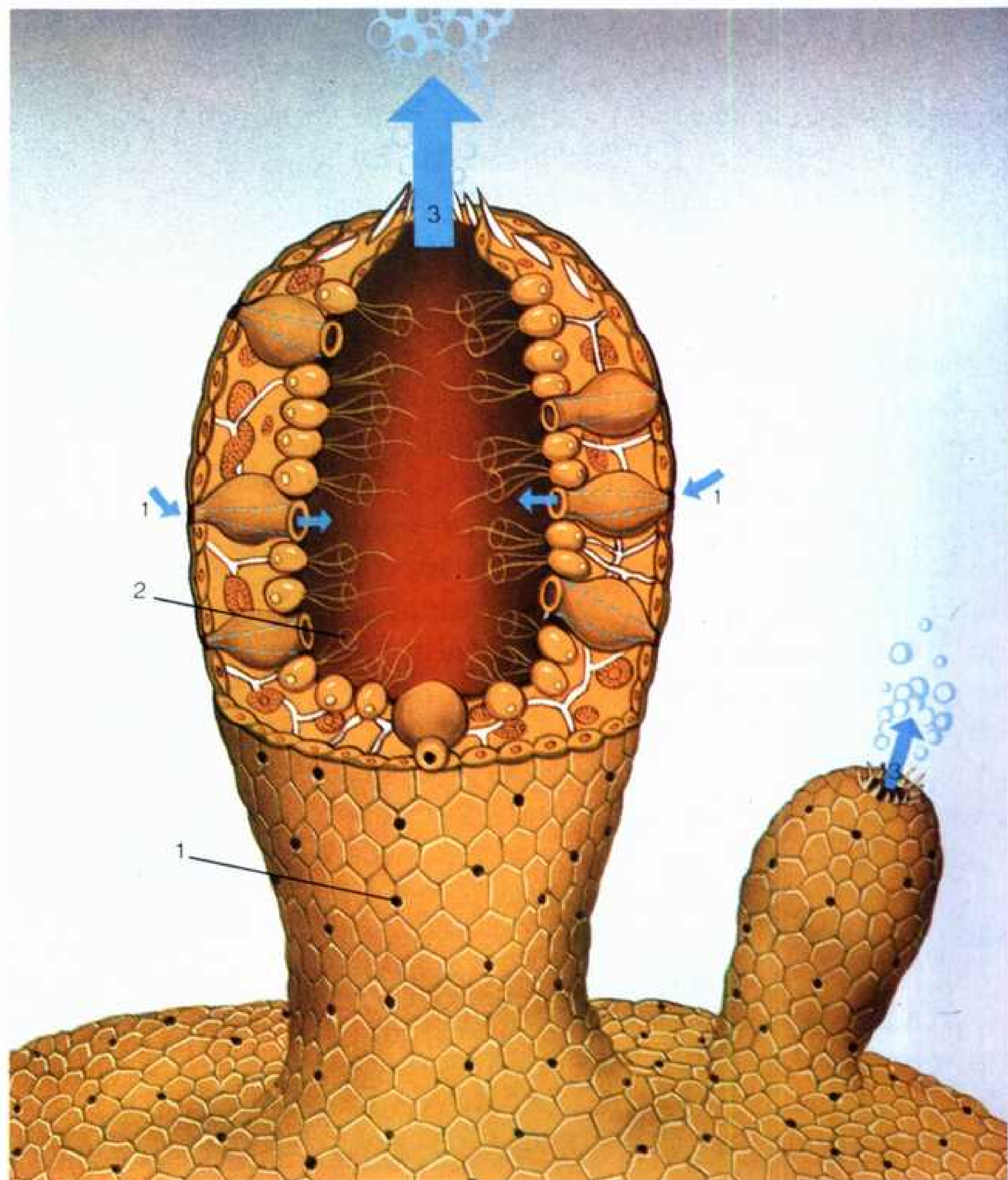
La reproducción de las esponjas. *Abajo: reproducción vegetativa en los poríferos. El dibujo muestra el estrechamiento que aparece en medio de la colonia, un agregado de individuos generados por reproducción agámica (gemación), que se divide en dos partes (A-C). Las gemas pueden aparecer alrededor de la colonia (D), o bien toda la esponja puede fragmentarse (E). Las esponjas se reproducen también sexualmente (a la derecha, y en la foto de la izquierda), con producción de huevos y de elementos masculinos que en algunas especies se forman en el mismo individuo, mientras en otras se tienen sexos separados. Después de que la célula huevo ha sido fertilizada (1), se desarrolla en pequeñísimas larvas (2), encerradas en una cápsula e incrustadas en la pared corpórea de la esponja. Este embrión pasa a través de la pared de la abertura más próxima y sale al exterior. A partir de entonces puede ya nadar mediante sus numerosos flagelos. La larva (3) se dispone luego sobre una superficie idónea y se transforma asumiendo la típica forma de bolsa con las paredes horadadas por minúsculos poros (4). Finalmente se forman las ramas (5); el nuevo individuo produce una o más gemas que, alcanzado un cierto tamaño, producen otras hasta constituir una colonia.*



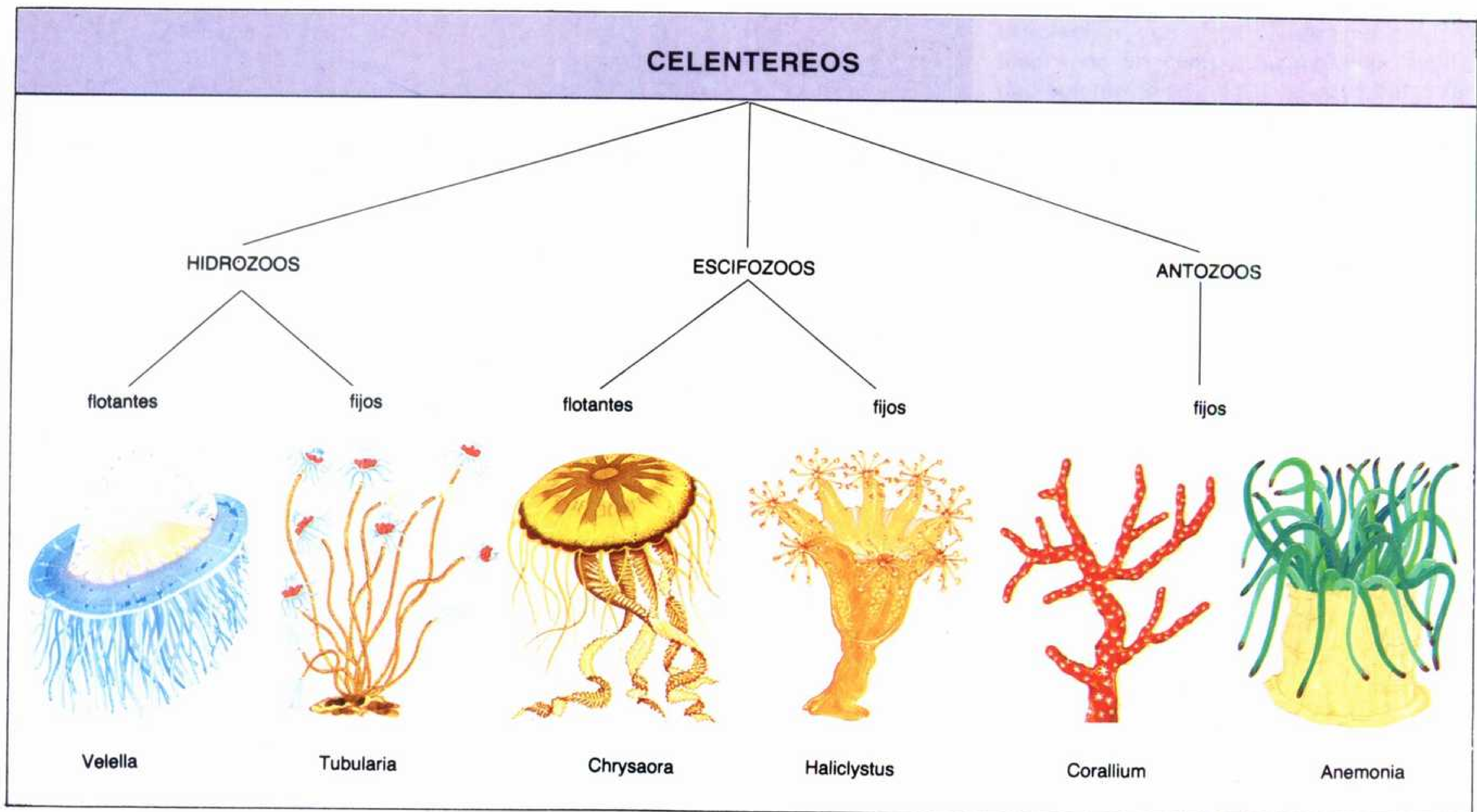




Las corrientes de agua en los poríferos. *Las esponjas están formadas por tres tipos de células: los epiteliocitos, que cubren la parte interna y algunas zonas internas; los amebocitos, células que emigran a través de la esponja, y los coanocitos, células flageladas que bombean el agua y de las que todo el organismo puede obtener el material nutritivo que contiene. En el dibujo de la derecha se muestra el paso de las corrientes de agua (indicado por las flechas) a través de las esponjas; el agua entra en las minúsculas aberturas llamadas poros inhalantes (1), es puesta en movimiento por los coanocitos (2) y sale luego por los poros exhalantes (3). Arriba, una esponja azul.*

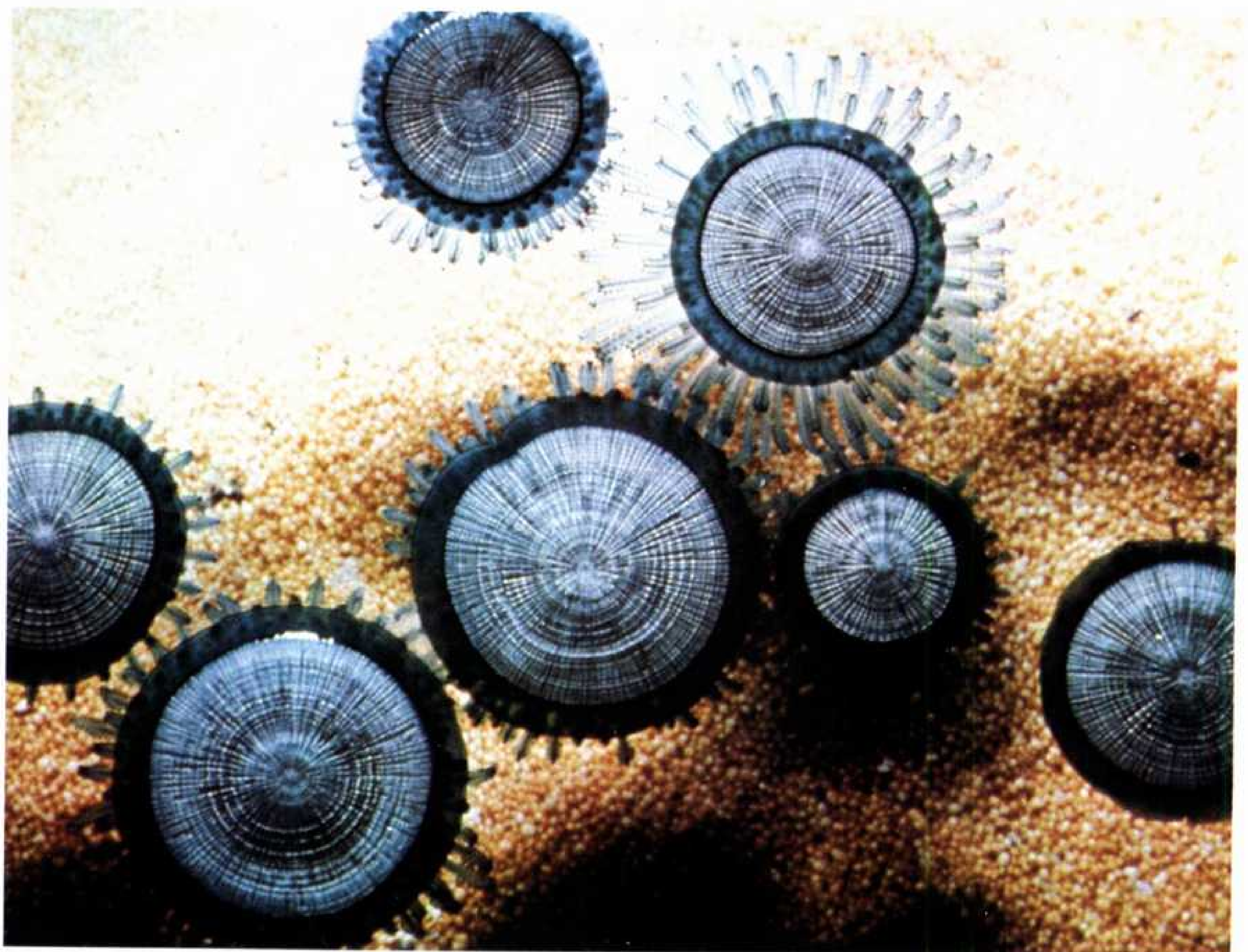


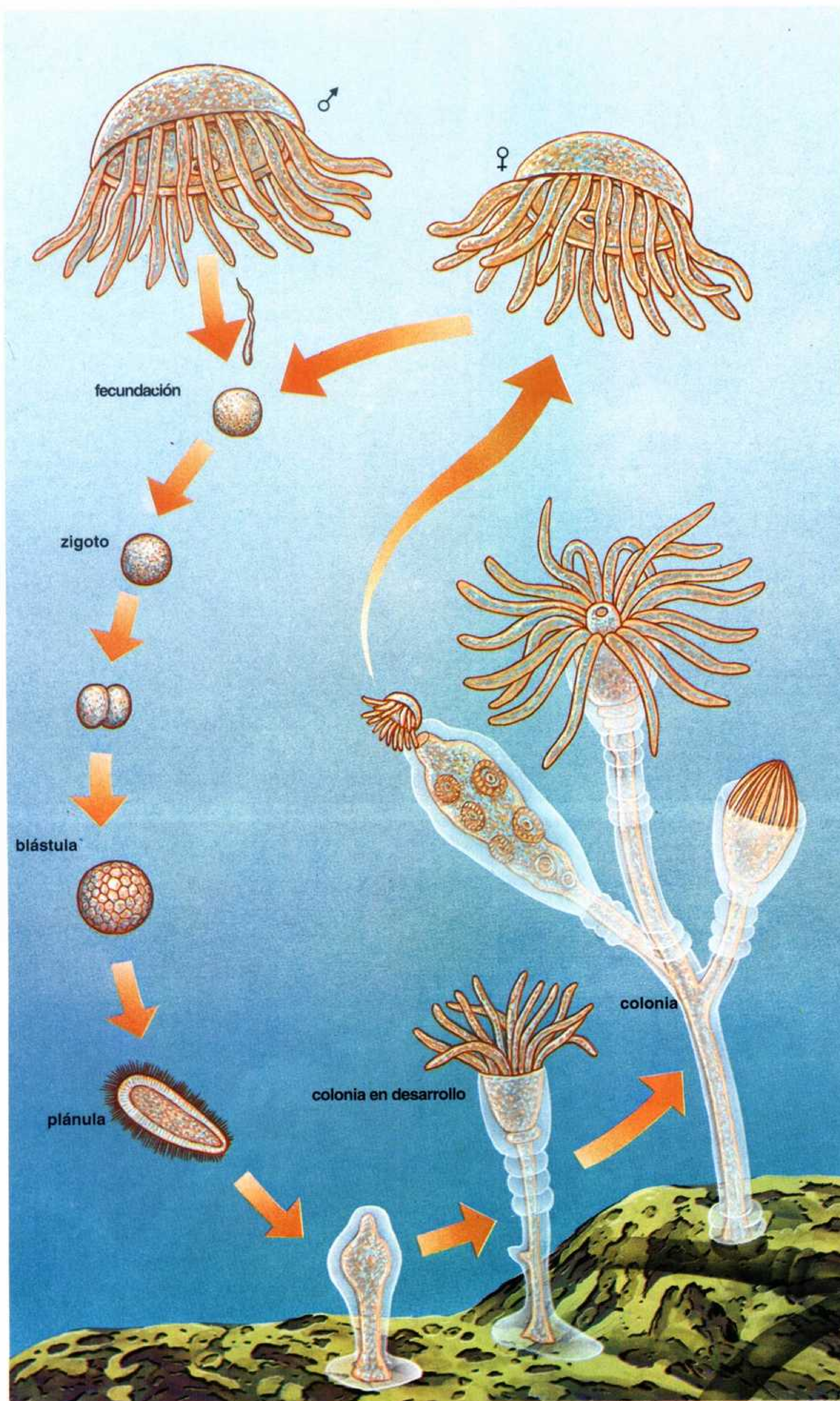
Los celentéreos



ESTE *phylum*, con sus 9.000 especies vivas, incluye las hidras, las medusas, las anémonas de mar y los corales. El cuerpo de estos organismos está constituido por una bolsa con una única abertura que tiene una doble función: admisión del alimento y emisión de los residuos no digeribles y de las propias escorias. La principal cavidad corpórea es el intestino (enteron); por tanto, la cavidad sacciforme con funciones digestivas de estos animales recibe el nombre de celenteron y da a su vez nombre (celentéreos) al grupo que la presenta. En el seno del grupo se advierte un gran desarrollo del polimorfismo, es decir, la existencia —dentro de una especie— de varias formas de individuos. Las formas principales son la sésil (el pólipo) y la móvil (la medusa). Pólipo y medusa pueden ser producidos con una regular alternancia de generaciones (metagénesis), en la que el primero constituye la fase de reproducción asexuada y la segunda la de reproducción sexual, que se desarrolla a partir de una célula llamada gonóforo. Múltiples son las variantes del polimorfismo, distribuyéndose de forma característica en las tres clases que constituyen el *phylum*. La clase hidrozoos comprende formas solitarias o coloniales, en las que tiende a prevalecer la fase de pólipo. La medusa posee un pliegue muscular periférico, el velo. La segunda clase, los escifozoos, abarca formas solitarias en las que la medusa, que nunca tiene velo, es el estadio predominante, mientras el pólipo es la fase menos importante, faltando a me-

Los celentéreos. *Son animales de simetría radial, de los que la mayoría vive en las aguas marinas mientras sólo pocas especies son de agua dulce. Se subdividen generalmente en tres clases principales (esquema de arriba): Hidrozoos, escifozoos y antozoos. Los hidrozoos, pequeños organismos que miden apenas algunos centímetros, pasan durante su ciclo vital a través de las fases de pólipo y de medusa; sin embargo, en alguna especie falta una de estas dos formas de desarrollo. También los escifozoos tienen estos mismos estadios de desarrollo, pero preferentemente el de medusa. Los antozoos, en cambio, carecen del estadio medusoide e incluyen exclusivamente formas fijas. Los pólipos se reúnen normalmente en colonias, aunque existen algunas formas solitarias. En el esquema de arriba están representados algunos celentéreos característicos. Abajo, pequeñas medusas. En la página siguiente, dos imágenes de* Gonionemus vertens, *medusa de típico aspecto, con umbrela y una delicadísima estructura.*





***El ciclo de vida de la* Obelia.** *El desarrollo de este hidrozoo marino comporta un estadio de pólipo y otro de medusa. Las medusas se reproducen sexualmente, esto es, existen formas masculinas y formas femeninas. El huevo fecundado se segmenta, alcanza el estadio de blástula, de la que se origina una forma libre que nada por medio de cilios vibrátiles, llamada plánula. Esta, aplanada y ovoidal, se puede considerar como una forma larval sometida a metamorfosis; a continuación, en efecto, se transforma en pólipo que tiene la forma de una bolsita cilíndrica, que se fija por la base. Este se reproduce por agamia, reproducción asexuada, formando una colonia. Se generan sucesivamente gemas medusoides que se desgajan de la colonia de pólipos y de las que se originan medusas, y se reanuda el ciclo. Las colonias de* Obelia *ofrecen un característico aspecto arborescente, por lo que fueron consideradas como plantitas de floridas ramas.*

nudo. La tercera clase, los antozoos, comprende formas exclusivamente polipoides, entre las cuales se cuentan las anémonas de mar y los corales propiamente dichos. Sólo un pequeño número de las 9.000 especies de celentéreos ha logrado penetrar en el agua dulce: únicamente las especies pertenecientes a la más primitiva clase de los hidrozoos y que comprenden las pequeñas hidras de los pantanos y de los ríos. Algunos hidroides y las anémonas de mar han penetrado en las aguas salobres, pero los celentéreos como grupo y los corales de las barreras coralinas en particular sólo prosperan en los hábitats marinos y su ausencia es notoria cerca de la desembocadura de los ríos.

Reciben el nombre de pólipos todos los celentéreos fijos a un substrato y de forma cilíndrica, bien se trate de gruesas anémonas carnosas o de los minúsculos y transparentes miembros de una colonia de hidroides o de corales. El término «pólipo» procede de una palabra griega que significa «con muchos pies», y se refiere a los ágiles tentáculos que sirven para capturar el alimento y transportarlo a la boca; en algunas especies, sin embargo, los tentáculos tienen una función locomotora. En las medusas, los tentáculos se han desplazado, por una dilatación del cuerpo, hasta el borde mismo de la umbrela, y allí donde normalmente debía estar el mango de la sombrilla pende un tubo con la boca en su extremidad dirigida hacia abajo, al contrario de cuanto generalmente ocurre con los pólipos, que mantienen una posición erguida. En los grupos de los pólipos y de las medusas, algunos miembros pueden adoptar la posición contraria, cosa en modo alguno sorprendente porque, examinando de cerca a estos animales, vemos que están construidos conforme al mismo plano básico y que, en el ciclo vital de una única especie, pueden aparecer tanto el pólipo fijo como la medusa que nada libremente.

El nombre de medusa lo aplican los zoólogos a los animales que lo llevan en recuerdo de la legendaria Medusa, una de las Gorgonas, la mitológica doncella cuyos cabellos se transformaron en serpientes y que petrificaba a quien los mirara. En efecto, los animales pequeños quedan paralizados cuando se acercan a los celentéreos: la densa armadura de filamentos con cápsulas urticantes, los nematocistos, situados sobre todo en los tentáculos, hace dignos a los celentéreos de su nombre «ortigas de mar».

Como recurso alimentario para el hombre, estos animales no son muy promisorios que digamos. No obstante, hace mucho tiempo se consumían anémonas de mar en Francia, Italia, Grecia y en algunas islas del Pacífico.







Las «flores» del mar. *Entre los celentéreos existen formas de gran belleza, por la variedad de formas y de colores. En las fotografías: arriba,* Corymorpha; *a la izquierda,* Tabularia couthouyi, *perteneciente a los hidrozoos; a la extrema derecha,* Haliclystus auricola, *un escifozoo; abajo, de izquierda a derecha,* Hydrophora exesa, *una colonia de corales, y una actinia, antozoo.*





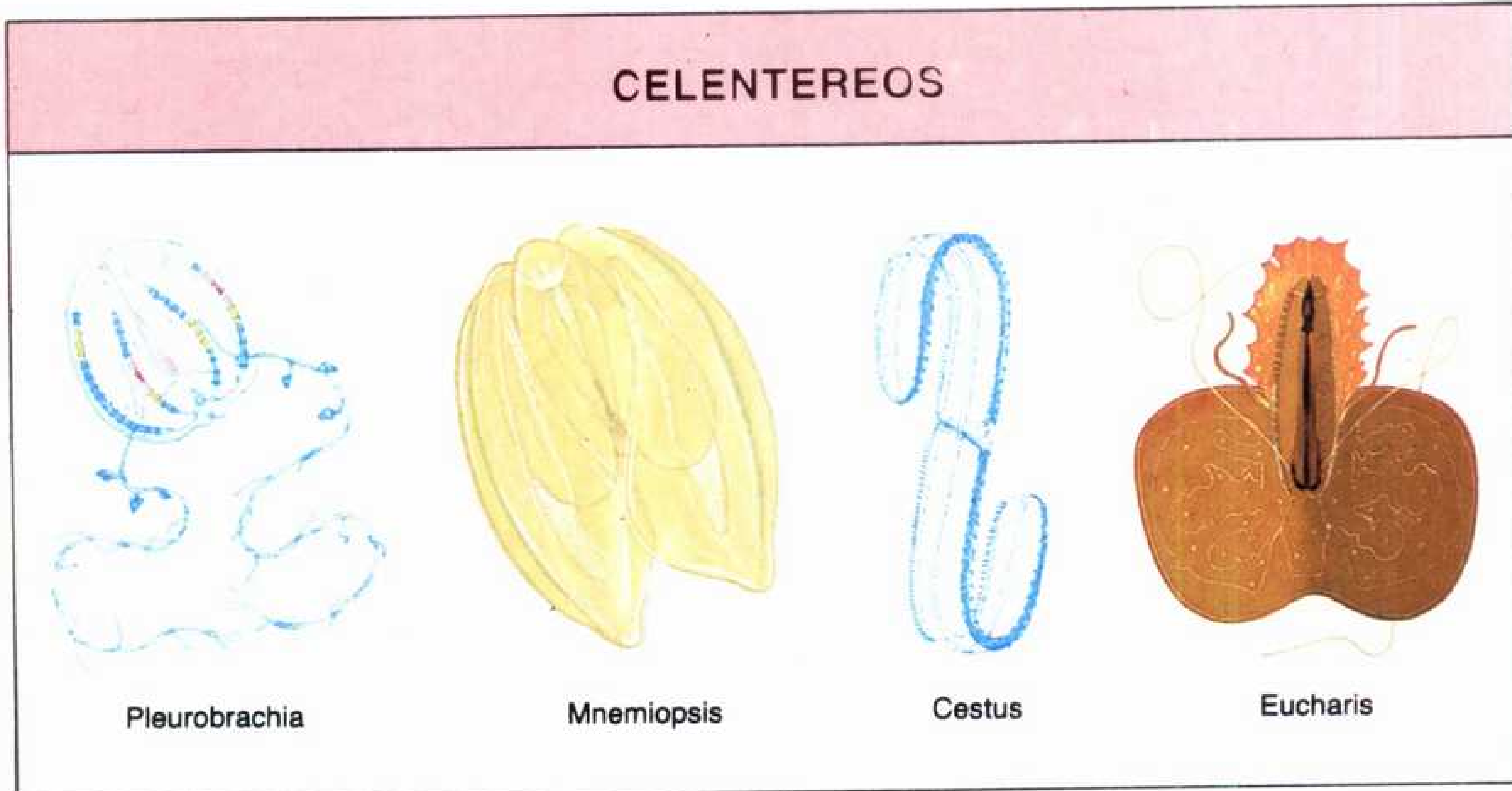


Los ctenóforos

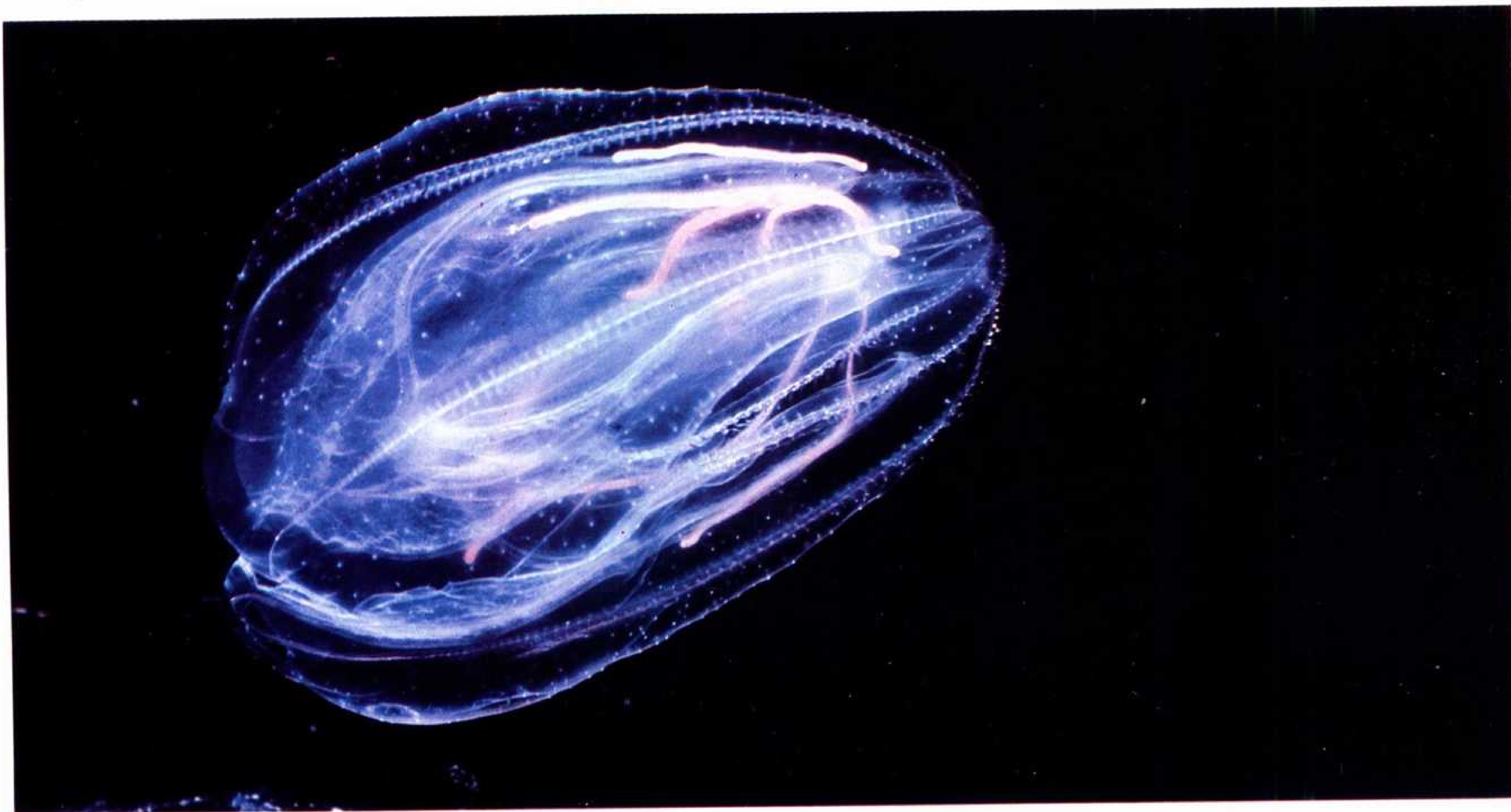
Estos animales, que se parecen en ciertos aspectos a los celentéreos, muestran, sin embargo, importantes diferencias, sobre todo por lo que se refiere al sistema de locomoción.

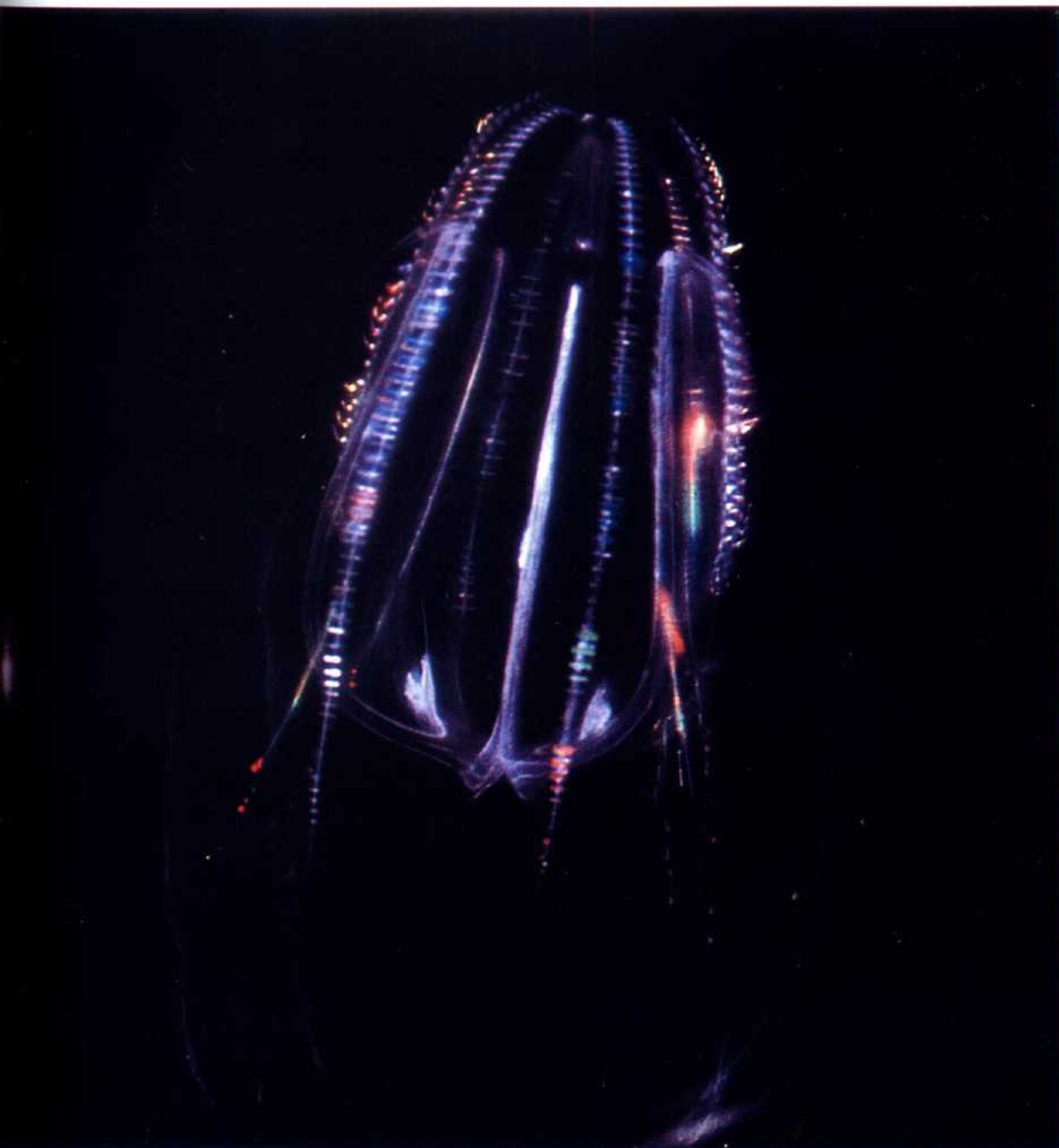
Los ctenóforos tienen el cuerpo de simetría bilateral doble, esto es, con mitades simétricas pero no equivalentes, y no son sésiles, sino que nadan libremente. En general, son transparentes y gelatinosos: los miembros más primitivos recuerdan en algo a las medusas. Contrariamente a lo que ocurre con los celentéreos, no tienen polimorfismo ni cualquiera de las formas de vida colonial. Se forma una larva bien diferenciada que se parece al adulto. La locomoción de estos animales difiere fundamentalmente de la de los celentéreos, por cuanto depende de un mecanismo ciliar sumamente especializado en vez de un esqueleto hidrostático. Ocho filas de láminas se disponen en toda la superficie del cuerpo. Cada lámina se compone de un gran número de cilios unidos, por lo que parece un peine (de aquí el nombre de ctenóforo: peine en griego se dice *cteis*). La palpitación de todos estos peines, órganos de propulsión de los ctenóforos, es regulado por un órgano sensorial sumamente especializado. Protegido por una membrana que lo recubre, este órgano está constituido por cuatro grupos de «equilibradores», mechones de cilicios que sostienen un estatolito compuesto por varios centenares de minúsculos granos calcáreos. Cada equilibrador está formado por 100-200 cilios, en parte soldados entre sí, cuyas células están conectadas por surcos ciliares a las filas de peines. Todo el complejo constituye un sistema funcionalmente continuo en el que las células ciliadas que lo componen son variadas especializaciones de la misma familia de células. Esto resulta de su potente latido, que se dirige siempre uniformemente hacia arriba, y ofrece un curioso aspecto ultraestructural de sus cilios.

En una playa tranquila, batida por las olas, llaman rápidamente la atención, incluso de lejos, unos pequeños globos ovales de material gelatinoso claro que brillan al sol como bolitas de cristal. La delicada transparencia de los ctenóforos los hace absolutamente invisibles en el agua, por lo que su presencia sólo es advertida por la iridiscencia de las filas de peines que baten y difrangen la luz. En las noches estivales, el agua puede centellear por cientos de ctenóforos presentes en



Frágiles organismos transparentes. *Los ctenóforos están dotados de láminas vibrátiles presentes a los lados de su cuerpo; estos «peines» fungen como órganos de locomoción y constituyen una característica innovadora y distintiva respecto de los celentéreos. Los ctenóforos están formados por más del 99 por 100 de agua, y su cuerpo, de consistencia blanda, se caracteriza por una excepcional transparencia, similar al cristal, generalmente con coloraciones muy ligeras; su presencia normalmente es revelada por los reflejos iridiscentes producidos por la rítmica pulsación de los órganos de propulsión. Su aspecto recuerda mucho al de las medusas y, como en el caso de éstas, es difícil mantenerlo y conservarlo. En las fotografías, algunos ejemplares de ctenóforos: abajo, y en la página siguiente, arriba:* Mnemiopsis leidyi; *en la misma página, abajo: una forma desprovista de tentáculos y particularmente luminiscente.*





ella. Recogidos y puestos en un frasco con agua de mar, en un local iluminado, dejan de resplandecer. Luego, si en la estancia se apaga la luz durante 20 minutos por lo menos, resplandecen nuevamente con una luz azulada o verdosa.

Este grupo es exclusivamente marino, aun cuando algunos de sus miembros prosperen en la bahías y en los estuarios con un contenido en sal que sea igual sólo a una tercera parte del que posee el mar abierto. De más de unas ochenta especies, setenta se pueden encontrar en los mares cálidos, tres sólo viven en las aguas árticas y septentrionales y tres son formas de los mares profundos. La distribución varía con las oscilaciones de temperatura, y muchos ctenóforos emigran desde la superficie hacia las profundidades y de nuevo a la superficie con el cambio de las estaciones. Frente a las costas de Nueva Inglaterra, los ctenóforos en busca de alimento constituyen una amenaza para las huevas y para los alevines del bacalao. En Inglaterra, los expertos en ictiología tienen buenas razones para pensar que la explosión demográfica de estos animales en ciertos años da lugar a una hecatombe semejante entre los alevines de arenques, constituyendo así uno de los factores principales para determinar, en años diferentes, las dimensiones de los bancos de las nuevas generaciones de estos peces. La transparencia de los ctenóforos habla elocuentemente de los fantásticos festines que pueden darse a costa de los copépodos, de pequeños peces, de larvas y de huevos.

Los platelmintos

De los muchos *phyla* que incluyen miembros de aspecto vermiforme, los platelmintos son los menos evolucionados. No tienen, por ejemplo, un sistema sanguíneo para transportar las sustancias esenciales a los tejidos corpóreos. De aquí se extraen dos consecuencias: el cuerpo resulta típicamente aplanado, lo que garantiza una amplia superficie para el intercambio de los productos de la respiración (gases respiratorios) hacia y desde los tejidos; el sistema digestivo está abundantemente ramificado, de manera que sus productos puedan ser introducidos y transportados en el ámbito de difusión típica de toda célula corpórea. En los platelmintos continúan operando los principios fundamentales del esqueleto hidrostático, aunque se expresen en tipos de estructuras diferentes y más elaboradas respecto de los celentéreos. La organización del cuerpo de un platelminto es más compleja todavía, lo que posibilita el aprovechamiento de un mayor ámbito de acción del hábitat.

Estrechamente asociada con el desarrollo de los órganos, y probablemente un factor esencial de promoción de este hecho, es la aparición durante el desarrollo embrional de un mesodermo, una masa ancha de células que separa al ectodermo del endodermo y que se deriva de una u otra de estas capas embrionarias. Los animales que lo poseen se llaman triblásticos, por contraposición a las esponjas y celentéreos, que son animales diblásticos. En los platelmintos, por primera vez, se encuentra un parénquima mesodérmico.

Los platelmintos se subdividen en cinco clases, una de las cuales, los turbelarios, comprende especialmente formas de vida libre que conservan una epidermis ciliada. Las demás clases (trematodos, monogenéticos, temnocéfalos y cestodos) contienen exclusivamente formas parásitas que han perdido los cilios.

Los turbelarios son en primer lugar acuáticos y en su mayoría marinos; viven preferentemente en el fondo, en la arena o en el lodo, bajo las piedras o entre las plantas acuáticas de la orilla. Los gruesos turbelarios acuáticos, particularmente del género *Planaria,* se deslizan contrayendo y estirando la musculatura.

Los progresos logrados por los nemertinos son lo bastante importantes como para justificar su separación de los platelmintos y su colocación en un *phylum* independiente, cuyas características recuerdan otras mejoras estructurales que aparecen en los anélidos y en los artrópodos.

Los nemertinos son animales marinos típicamente litorales; raras son las formas terrestres y de agua dulce. Su longitud varía desde algunos milímetros hasta 30 metros (en el caso de *Lineus longissimus*), como se encuentra en formas que viven en el mar del Norte. La epidermis es más compleja que la de los platelmintos; debajo existe una dermis, que puede ser gelatinosa o fibrosa y que apoya sobre una membrana basal. Otras propiedades de los nemertinos son: la presencia de un ano, de un sistema circulatorio y de una probóscide con una forma única para el tipo. Esta, en posición de reposo, está invaginada en el cuerpo y se encuentra en una cavidad llena de líquido, el rincocele. Se usa para alimentarse o para excavar.

Otra importante innovación, que influyó en la historia de muchos invertebrados y en todo el grupo de los vertebrados, es la evolución de la segmentación metamérica, es decir, el plano de estructura en que el cuerpo se diferencia a lo largo de su eje logitudinal en una serie de segmentos, cada uno de los cuales contiene algunos de los principales sistemas de órganos. La segmentación metamérica, tal como aquí la hemos definido, es característica de los anélidos, de los artrópodos y de los vertebrados (incluyendo entre estos últimos también al procordado anfioxo). Los movimientos de los anélidos y de los artrópodos dependen de la segmentación de la musculatura, del celoma y del sistema nervioso. Los anélidos son animales reptantes y excavadores, y es razonable pensar que su actual forma de vida influyó, en el pasado, en el origen y primera evolu-

PLATELMINTOS TURBELARIOS

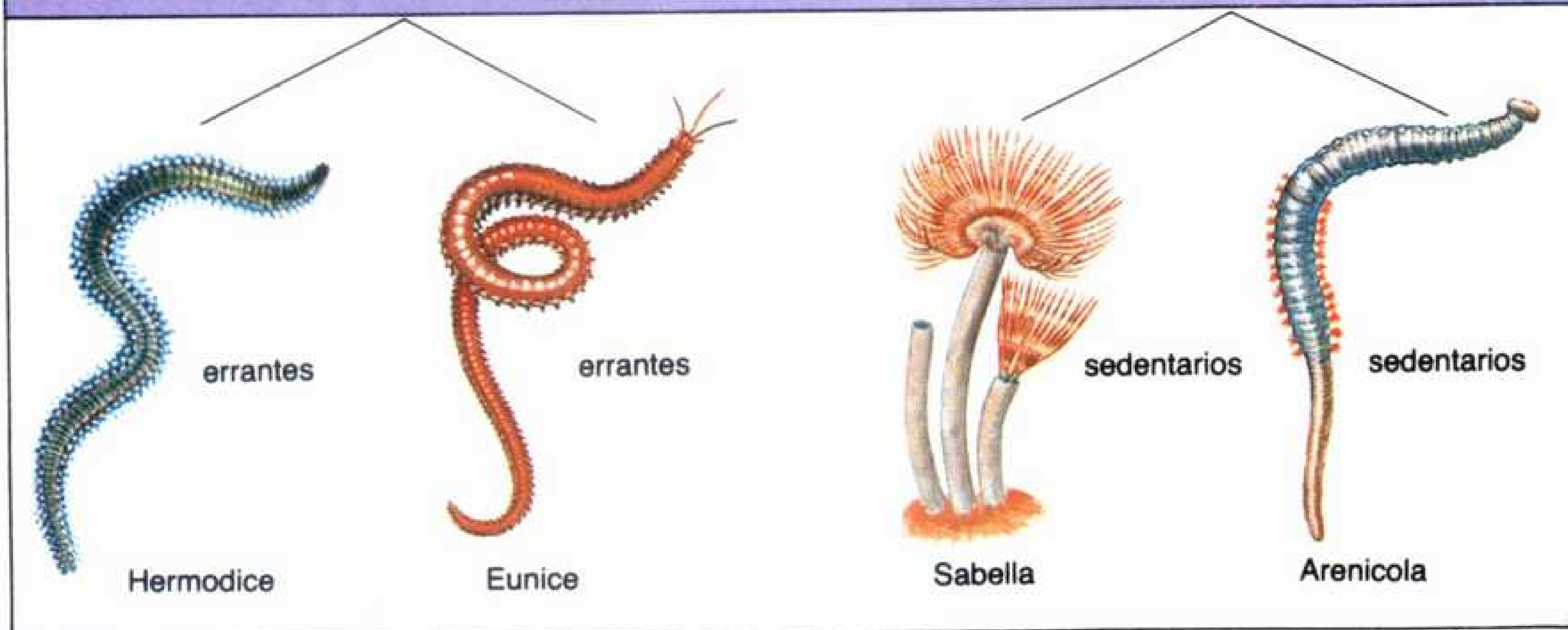






Los platelmintos. *Caracterizados por un cuerpo de forma aplanada, algunos no muy anchos, otros cintiformes, son en gran parte parásitos; las únicas formas que viven en aguas marinas pertenecen a la clase de los turbelarios. En la fotografía de abajo,* Prosthecereus, *de cuerpo estriado y colores brillantes.*

Los anélidos poliquetos. *Estas especies son preferentemente marinas, y se subdividen, según su género de vida, en errantes y sedentarios: los primeros se mueven por el fondo, mientras los segundos están dotados de un tubo que sirve para proteger el cuerpo o bien viven establemente en galerías excavadas en la arena o en el fango. En la página siguiente: dos representantes típicos de los análidos poliquetos.*



les molesta, se encogen bruscamente invaginando la mitad anterior del cuerpo, llamada trompa, o introverso, en el interior del tronco, y arrollándose en bola hasta asumir un aspecto que recuerda la parte comestible de los cacahuetes.
La mayoría vive en aguas poco profundas, pero se han encontrado algunos en profundidades superiores a los 5.000 metros. Se desarrollan de una larva, llamada trocófora, que nada activamente, y abandonan en el mar, donde tiene lugar la fecundación, sus huevos y espermatozoides, que se liberan a través de los metanefridios, o túbulos excretores.
Entre los descubrimientos más sorpren-





ción de su segmentación metamérica.
El importante *phylum* de los anélidos, o gusanos segmentados, comprende representantes marinos, de agua dulce y terrestres. Los tres grupos principales son los poliquetos, los oligoquetos (lombrices y *Tubifex*) y los *hirudíneos* (sanguijuelas). La mayor parte posee cuerpos cilíndricos, blandos, con un intestino que corre desde la boca, situada en la parte anterior, hasta el ano, en la parte posterior. A los anélidos se les considera más evolucionados que los nemertinos y otros gusanos inferiores, ante todo por la organización metamérica y, en segundo lugar, por la presencia de una amplia cavidad corpórea o celoma, que aprovechan tanto para la locomoción como para otras actividades. Los poliquetos son casi exclusivamente marinos, y se distinguen por la presencia de prolongaciones corpóreas parecidas a miembros articulados, los parápodos, de las que emergen penachos de cerdas rígidas parecidas a pelos. Un poliqueto típico tiene segmentos bien marcados, es carnívoro y utiliza para la locomoción el movimiento sinuoso del propio cuerpo o los parápodos.
El tipo sipunculoideos comprende cerca de 250 especies diversas de gusanos marinos sedentarios. Cuando se extienden, estos animales se asemejan a un «bate de béisbol», con una corona de tentáculos que sirven para recoger el alimento. Si se

dentes llevados a cabo en el siglo XX, al dragar los fondos a gran profundidad, se recuerda el de los pogonóforos, un *phylum* que incluye criaturas vermiformes, tubícolas, que pasan la vida solitariamente y alcanzan los seis centímetros de longitud. El cuerpo de estos gusanos largos y esbeltos se subdivide en tres regiones: una probóscide que ostenta en la parte inferior de uno a más de doscientos tentáculos; un mesosoma, o tronco, y un largo cuerpo posterior cuyo tercio final puede distinguirse por numerosos anillos sucesivos con papilas adhesivas. Con ellas, el pogonóforo logra mantenerse colgado al tubo delgado y adherente que ha segregado en el fango del fondo marino.

Los tentaculados

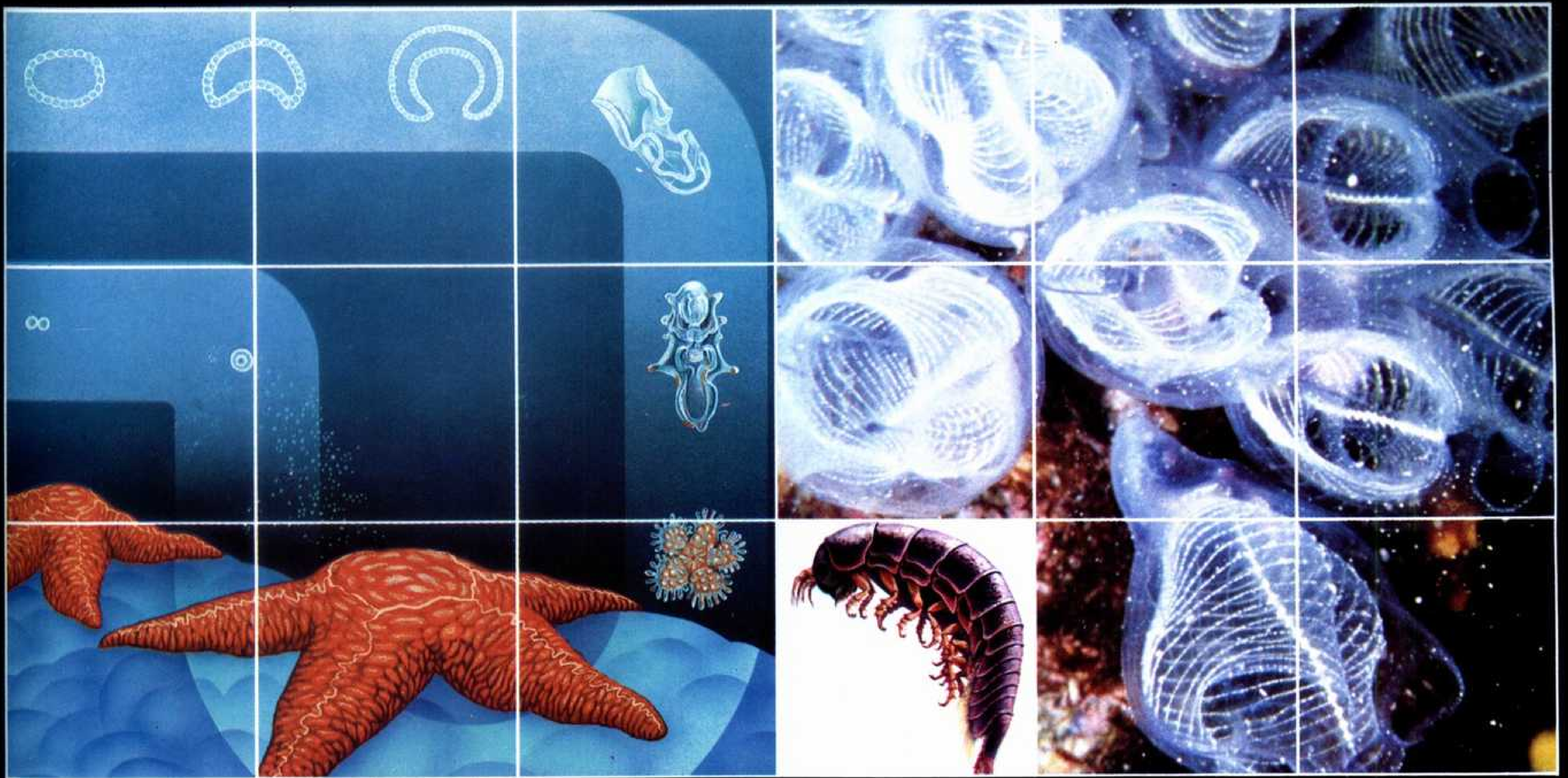
Los briozoos y los braquiópodos poseen un órgano, llamado lofórofo, para la captura del alimento, constituido por un pliegue de la pared corpórea que circunda la boca, y ostenta numerosos tentáculos ciliados, que son prolongaciones huecas de la pared corporal; sus segmentos ciliados empujan la corriente de agua hacia el lofóforo, para recoger el plancton de que se alimenta el animal.

Los briozoos son criaturas minúsculas, de algunos milímetros de longitud, con penachos o ramificaciones: viven tanto en aguas marinas poco profundas como en pantanos, ríos y lagos. A pesar de sus dimensiones, cada animal presenta en el seno de la colonia una notable complejidad, y sus principales órganos son equivalentes a los de los animales superiores. Viven en un minúsculo habitáculo llamado zooecio, cuya abertura está protegida como una tapadera que se abate cuando el animal se retrae. Los componentes de la colonia están frecuentemente unidos entre sí por un celoma común; toda la colonia dispone luego de un zooecio continuo de carbonato de calcio o de un material viscoso quitinoso. La reproducción es agámica o sexual, mientras las colonias se forman por gemación agámica y por proliferación. Los briozoos están representados por 4.000 especies vivas, sobre todo marinas. Este grupo de animales de amplia distribución se extiende desde las regiones polares cubiertas de hielos hasta los trópicos, y desde la línea costera hasta los 5.400 metros de profundidad. La mayor parte de la especie se limita, sin embargo, a las aguas poco profundas de la zona litoral, desde la línea de bajamar a los 180-360 metros de profundidad. A partir de esta profundidad, hacia mar abierto, disminuye drásticamente el número de géneros y de especies. Y aparentemente muestran poca preferencia por el substrato: conchas de moluscos aún vivos, palos de amarra, algas, hidrozoos y cascos de embarcaciones se ven densamente incrustados por estos minúsculos animales. El *phylum* de los braquiópodos comprende animales que se asemejan a moluscos bivalvos, porque poseen un manto y un caparazón a menudo bivalvo. La semejanza, no obstante, es superficial, dado que en los braquiópodos las dos valvas delimitan el cuerpo dorsal y ventralmente, en vez de lateralmente, y la valva ventral es más gruesa que la dorsal. Además, está generalmente fija al substrato directamente o por medio de un pedúnculo similar a un cordón. Los lóbulos del manto segregan el caparazón y encierran el lofóforo.

Todos los braquiópodos son marinos y casi ninguna especie se encuentra a profundidades que superen el margen de la plataforma continental. La mayoría de las especies viven fijas a las rocas o a otros substratos sólidos, pero algunas formas, como *Lingula,* excavan galerías verticales en los fondos arenosos y fangosos.

Un delicado encaje. Retepora cellulosa *es una de las formas más llamativas de los briozoos, con sus colonias en forma de abanico.*







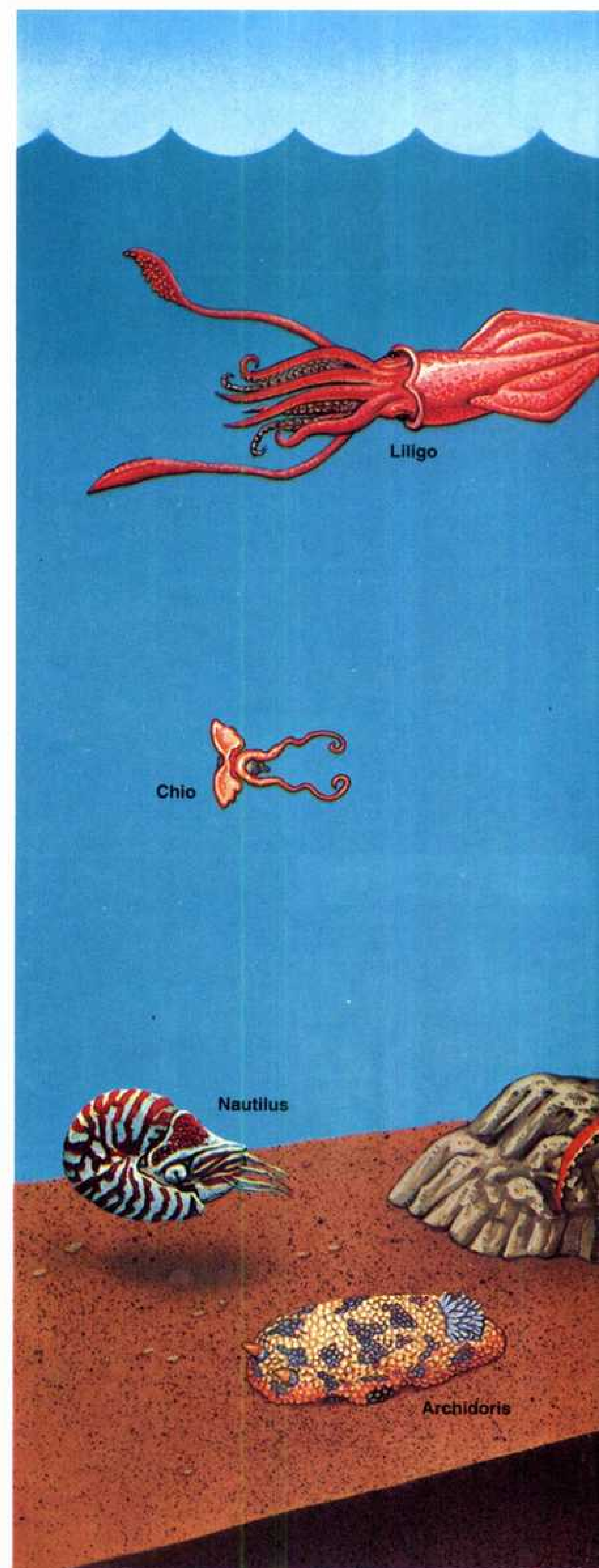
Los invertebrados superiores

Los moluscos

ENTRE los invertebrados superiores se cuentan numerosos *phyla,* cada uno de los cuales tiene elementos que pueden remontarse, según los documentos fósiles, por lo menos a los inicios del Cámbrico (hace 570 millones de años), cuando aparecieron por primera vez los caparazones duros. Cada *phylum* parece haberse formado y evolucionado en el medio marino. Uno de los más importantes es el de los moluscos, así llamado porque tienen el cuerpo blando (en latín, *mollis* significa «blando»); representan el grupo de invertebrados más conocidos y el segundo grupo como entidad numérica después de los artrópodos. Tienen una simetría bilateral, no están segmentados y su cuerpo está comúnmente protegido dentro de un caparazón, o concha, de material calcáreo. Incluyen en general animales bentónicos, pero que pueden nadar libremente: por ejemplo, los pulpos, las babosas de mar, las ostras, los mejillones, las almejas, las chirlas y los calamares. De gran interés como recurso alimentario para el hombre, los moluscos tienen orígenes muy antiguos.

Los moluscos se subdividen en cinco clases: los gasterópodos (babosas de mar, caracoles); los poliplacóforos (de caparazón formado por varias placas imbricadas, como el quitón); los escafópodos (dotados de concha en forma de colmillo, como los «colmillos de mar»); los lamelibranquios o bivalvos (ostras, almejas, mejillones, taclobos, etc.), y los cefalópodos, que pueden dividirse a su vez en dibranquios (sin concha externa, como las jibias y pulpos) y tetrabranquios (enrollados en espiral en una concha, como el nautilo).

Aun cuando en nada se parezcan externamente una almeja, un pulpo y una babosa de mar, el grupo tiene, sin embargo, características únicas que no se encuentran en otros grupos. Por ejemplo, posee una rádula —estructura para raspar semejante a una lengua— y un manto carnoso que segrega la concha. La mayoría de los moluscos tienen caparazón ex-

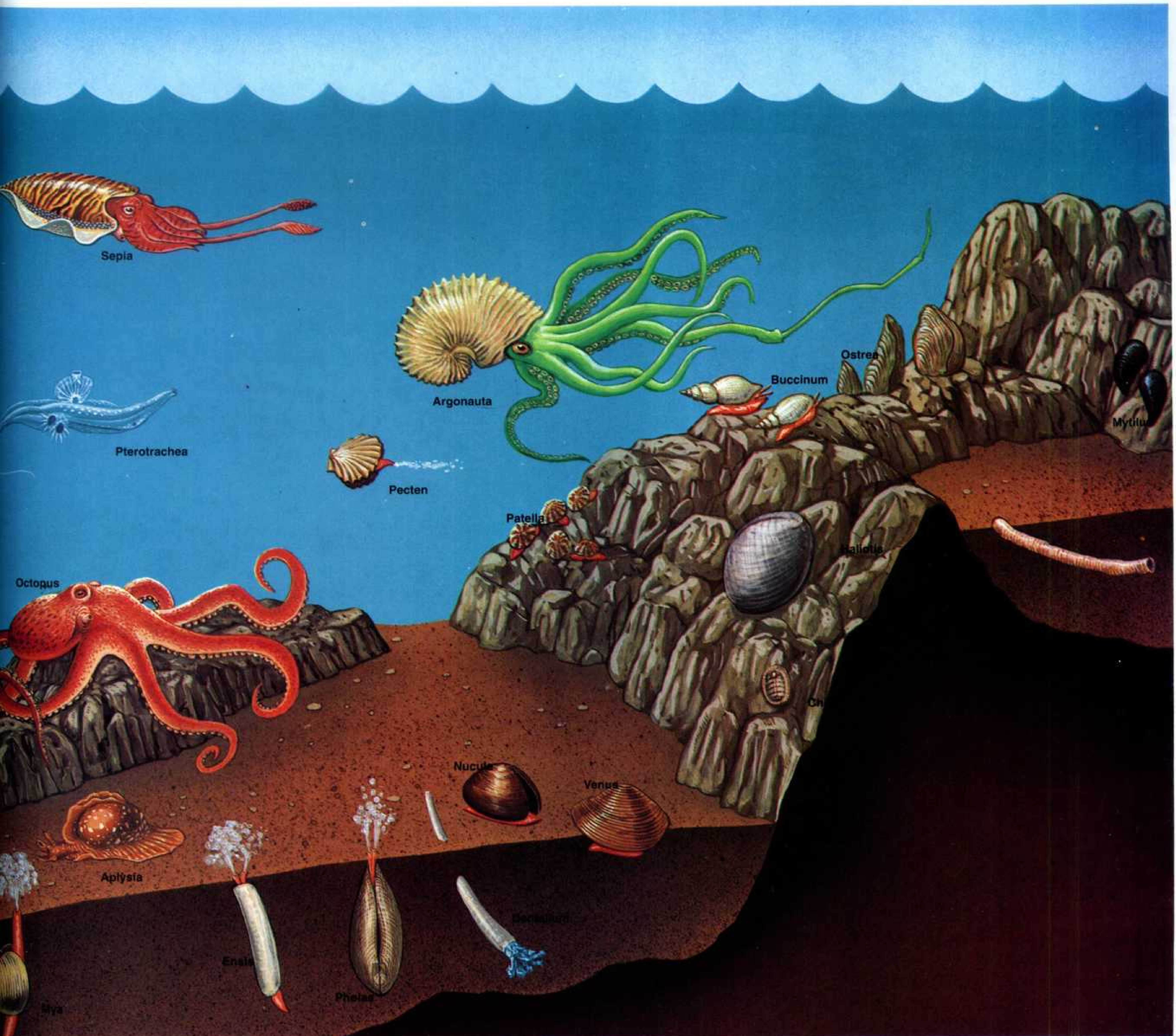




Animales con concha. *Los moluscos son el* phylum *animal más abundante en especies, muchísimas de las cuales están provistas de concha, esqueleto externo y, en ciertos casos, interno. Abajo, las diversas clases de animales con concha. En la página siguiente, algunos de los moluscos más representativos observados en su hábitat usual. A la izquierda, huevos de nudibranquio, el único orden de los gasterópodos al que pertenecen animales desprovistos de concha.*

MOLUSCOS

POLIPLACOFOS	BIVALVOS	GASTEROPODOS	ESCAFOPODOS	CEFALOPODOS DIBRANQUIOS	CEFALOPODOS TETRABRANQUIOS
Chiton	Pecten	Buccinum	Dentalium	Octopus	Nautilus



terno, que puede ser tubular, enrollado en espiral, bivalvo o hecho de placas superpuestas e imbricadas.
Los sexos están separados, en general; pero existen también algunos moluscos, como las babosas de mar, que son hermafroditas. Los huevos y espermatozoides se producen en la misma parte de la misma gónada, o por distintas partes de la misma gónada, o por ovarios y testículos separados. Cuando los sexos están separados, espermatozoides y huevos pueden ser emitidos directamente al mar para que se produzca la fecundación. Es lo que ocurre en los quitones, en los bivalvos marinos, en los escafópodos y en los gasterópodos inferiores. Otras formas depositan los huevos en el mar después de haberse producido la fecundación interna y los envuelven en masas gelatinosas o los encierran en cápsulas. Las larvas de moluscos son en general planctónicas. En los bivalvos son ciliadas y se las conoce como «velígera». Después de un cierto tiempo, la larva velígera adquiere una minúscula glándula de la concha y baja a las profundidades para convertirse en un adulto en miniatura. Algunos bivalvos, como parte de un mecanismo de supervivencia, producen un número enorme de huevos. Una ostra de sexo femenino emite hasta 60 millones por temporada. Por tanto, algunos bivalvos son extraordinariamente abundantes.
En ciertos bivalvos, la reproducción puede adoptar formas diversas incluso dentro de un mismo género. Mientras en la ostra americana *(Ostrea virginica)* los sexos están separados, en la ostra europea (*Ostrea edulis*) y en la del Pacífico (*Ostrea lurida*) las gónadas del mismo individuo producen espermatozoides y huevos conforme a una secuencia regular. En la ostra del Pacífico los huevos son fecundados dentro de la cavidad del manto de una «hembra», donde se desarrollan en larvas que son liberadas luego en el mar.
Los moluscos, originariamente marinos, se encuentran en todos los ámbitos, desde la zona intercotidal hasta las grandes profundidades oceánicas. Sus dimensiones varían desde las formas casi microscópicas a los gigantes del mar. La gigantesca *Tridacna,* que se encuentra en las aguas tropicales del Pacífico, puede superar los 200 kilogramos de peso.
Un calamar gigante, *Architeutis,* que llega empujado por las olas a las costas de Nueva Zelanda, es uno de los mayores invertebrados vivientes.

Poliplacóforos y gasterópodos

SE trata de moluscos con una única valva, o con un cuerpo cubierto de placas, en general algo más primitivos que los cefalópodos y los bivalvos.

Los quitones, representantes de la clase de los poliplacóforos, se encuentran en aguas poco profundas, aferrados a las escolleras. Se nutren de algas y de organismos microscópicos, y predominan en la zona intercotidal. Tienen muy pocos enemigos, porque sus placas dorsales los protegen contra los depredadores y se fijan sólidamente a las rocas con un robusto pie en ventosa. Se mueven lentamente nutriéndose acá y allá de minúsculas algas, pero generalmente regresan al punto de partida para descansar.

Los gasterópodos son moluscos univalvos, que comprenden las lapas, las orejas de mar, los múrices, las liebres de mar y las babosas. Aparte de estas últimas, que o carecen de concha o poseen una muy reducida y cubierta por la piel, los gasterópodos tienen un caparazón constituido por una sola pieza. Además de las numerosas especies acuáticas, se cuentan diversas especies terrestres, como el conocido caracol común comestible (*Helix pomatia*) y la babosa, absolutamente desprovista de caparazón. La mayoría de las especies marinas viven a lo largo de las costas en la zona intercotidal o en el fondo, en aguas poco profundas. Algunas tienen una forma de vida pelágica y se conocen con el nombre de nudibranquios, o «mariposas de mar». Los nudibranquios nadan cerca de la superficie y están considerados entre los más bellos animales marinos. La mayor parte de las babosas y de las lapas ramonea el material de origen vegetal sirviéndose de la rádula. Algunas babosas, sin embargo, son carnívoras, habiendo adaptado su rádula para perforar las conchas de otros moluscos o incluso moluscos de la misma especie, degustando la masa corpórea interna en una forma de canibalismo.

La fuerte concha de los gasterópodos hace que estén bien representados entre los fósiles, habiéndose encontrado muchísimos; los primeros se remontan al Cámbrico.

La concha de forma más simple es la cónica, cuyo ejemplo más frecuente son las lapas. El animal se fija al interior de la única valva con un robusto músculo, que termina en un amplio pie adherente con el que puede arrastrarse sobre las rocas de la zona intercotidal, permaneciendo bien fijo bajo la violencia de las olas.

Más frecuente es la concha arrollada en hélice con la formación de vueltas de cada vez mayor amplitud; el conjunto de estas vueltas constituye una espiral. Este enrollamiento en espiral puede hacerse sobre un solo plano, como el muelle de un reloj; o puede ser irregular, originan-





Caparazones especiales. *Ocho placas calcáreas parcialmente móviles protegen el cuerpo de los poliplacóforos (arriba), que pueden así enrollarse. Estos moluscos viven en estrecha relación con el fondo, donde por medio de su pie se adhieren fuertemente a rocas y piedras; se alimentan de algas y pequeños animales. Semejante a una pequeña trompa de elefante es la concha de los escafópodos, moluscos exclusivamente bentónicos, cuya especie más común es* Dentalium *(a la derecha). Estos animales pueden vivir tanto en las zonas litorales como en las abisales. La concha, en las formas de mayor tamaño, puede llegar a los 12 centímetros de longitud; excavan con su pie galerías oblicuas en el fondo marino, escondiéndose en ellas y poniéndose así a salvo de depredadores.*





Moluscos sin concha. *Los nudibranquios (arriba) son animales espléndidamente coloreados, que en el estado adulto no tienen concha. La cabeza está provista de tentáculos olfativos (foto grande), mientras en el dorso del animal hay numerosas papilas multiformes que fungen como órganos respiratorios. La pérdida de la concha guarda relación con la necesidad de aligerar el cuerpo para conquistar formas de vida diversas.*

do la formación de conchas tubulares. A menudo, la última vuelta prevalece sobre las precedentes, y el aspecto de la concha, al ser la espiral muy reducida, se lo confiere el perfil de la última vuelta: ésta puede desarrollarse en forma globular, cónica, cilíndrica, oval, etc. En cambio, si la espiral es manifiesta, con numerosas y evidentes anfractuosidades, se tiene una concha torreada; si, al propio tiempo, la base se prolonga en un canal, se da una concha fusiforme. Se ve, pues, cuán numerosas pueden ser las formas de una concha. La mayoría de las espirales se enrollan en sentido dextrorso, pero hay algún caso en sentido sinistrórsum.

Muchos tipos de lumache poseen como defensa contra los depredadores, en la parte dorsal del pie, una tapa oval llamada opérculo; cuando el animal se asusta y retira su cuerpo blando dentro de la concha, el opérculo cierra completamente la entrada.

Las conchas de los gasterópodos, particularmente de los que viven en las lagunas y aguas más profundas, están a menudo decoradas con elegantes espirales que facilitan su estabilidad y sirven para mantener alejados a los depredadores.

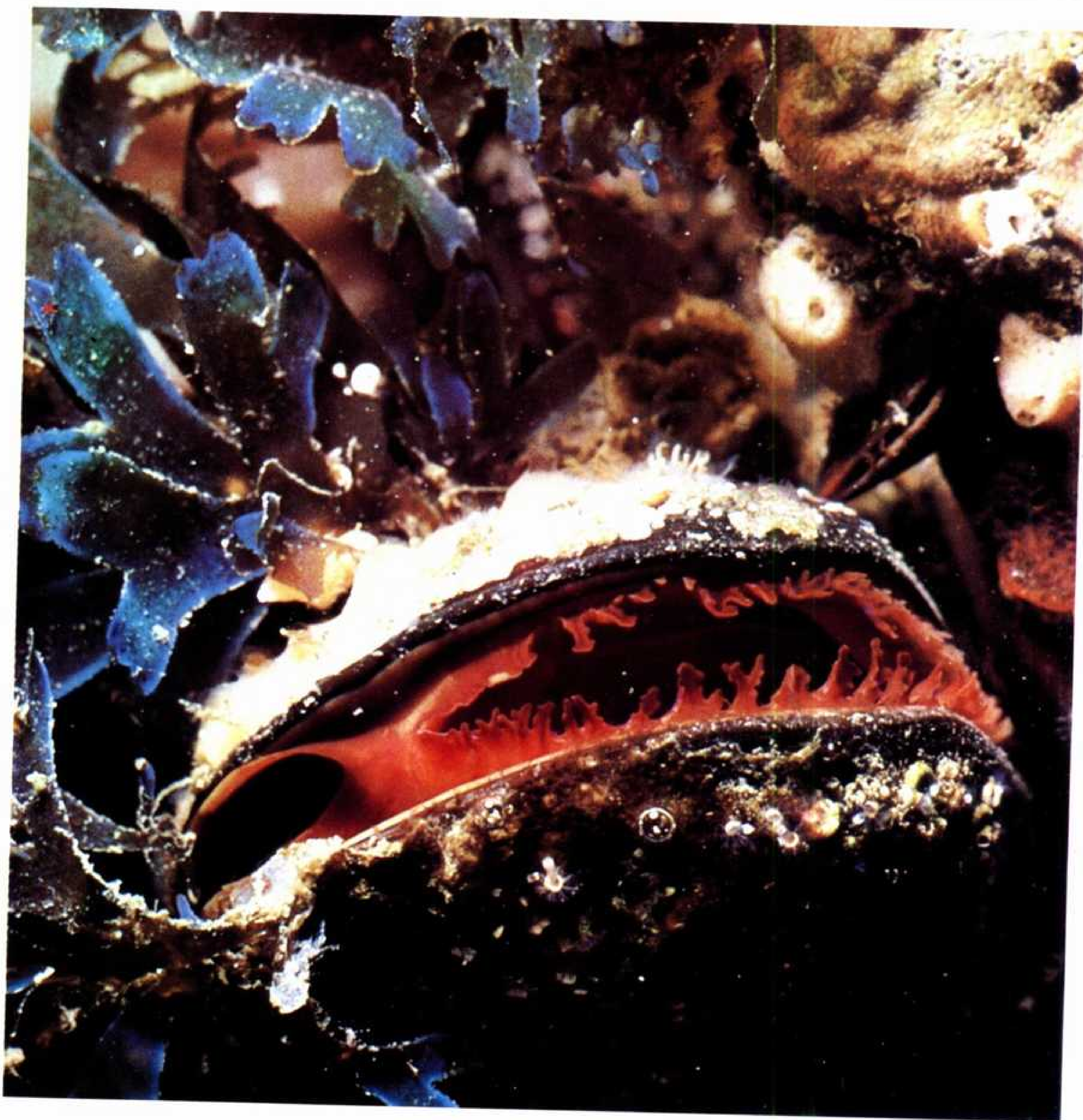
El género *Conus* ha desarrollado una poderosa arma defensiva en forma de dardo venenoso, que, desde detrás del pie, puede dispararse con el extremo puntiagudo.

Existe, finalmente, una tercera clase de moluscos con concha cónica, el pequeñísimo grupo de los escafópodos. Su concha es tubular, ligeramente curvada y abierta en ambas extremidades. Se trata de animales marinos que viven en los fondos arenosos y fangosos: parcialmente sepultados en posición oblicua, excavan una fosa con el pie musculoso que sobresale en la extremidad anterior.

Bivalvos y cefalópodos

ESTAS dos clases son las más desarrolladas del *phylum* de los moluscos: los bivalvos, con una concha constituida por dos valvas de carbonato de calcio, y los cefalópodos, con una única concha enrollada en espiral. En general, los primeros son formas bentónicas sésiles, mientras los segundos tienden a ser pelágicos que nadan libremente. Los bivalvos, llamados también pelecípodos o lamelibranquios, tienen normalmente una simetría bilateral, con una concha constituida por dos valvas prácticamente iguales. Muy abundantes en el mar, comprenden las almejas, las ostras, los mejillones, las vieiras, o conchas de peregrino, y los corazones de buey, cuya mayor parte se alimenta filtrando la comida. Algunos, como *Lhithophagus,* pueden utilizar la concha como raedera para perforar las rocas calcáreas de la zona intercotidal en la que preparan su nicho. Las almejas viven sobre todo en los fondos cenagosos blandos. Ciertas especies (ostras y mejillones) se arraciman formando colonias que dan origen a barreras. El bivalvo *Teredo,* o broma, perfora la madera que flota o el casco de las embarcaciones, y se alimenta con el serrín.

Los cefalópodos (del griego *Kephalé,* cabeza, y *poús,* pie) son los más evolucionados de todos los moluscos: se trata de animales cuya cabeza está circundada de tentáculos que fungen como miembros. Incluyen la sepia, el *Nautilus,* el pulpo y



Las conchas más comunes. *En las playas de nuestros mares, las conchas que más fácilmente se encuentran están formadas por dos valvas; pertenecen, pues, a los moluscos bivalvos, como* Mytilus edulis *(en la página anterior, abajo), el mejillón. En la misma página, arriba, un pectínido con las valvas abiertas. Esta concha es una de las más apreciadas por los que se dedican al coleccionismo.*

Los moluscos más evolucionados. *A los cefalópodos, moluscos con muy elevada organización, pertenece el* Nautilus, *un fósil viviente (arriba). Su concha (sección en la foto pequeña) está dividida en numerosos compartimientos, el último de los cuales ocupa el animal. Son cefalópodos también las sepias y los pulpos (abajo). Las primeras poseen una rudimentaria concha interna, de la que carecen los segundos.*

el calamar. Algunas formas han conseguido un elevado grado de movilidad eliminando la concha protectora. La jibia, por ejemplo, tiene un cuerpo aerodinámico con elegantes aletas, y se mueve rápidamente en el agua al expulsar chorros de agua que produce al expandir y contraer el manto muscular. Podemos describir el cefalópodo como un animal que tiene una concha externa (como el *Nautilus)* o interna (como la sepia). Todas las especies, salvo el *Nautilus,* poseen una glándula que produce tinta, que es almacenada en una bolsa a propósito. La tinta de los calamares y de los pulpos es expulsada en forma de «cortina de humo», a fin de defenderse de potenciales enemigos. Los pulpos viven en cavidades en el fondo rocoso de mares poco profundos o bien en el caparazón vacío de otro molusco, y depredan de noche crustáceos y pequeños moluscos. Los calamares tienden a cazar crustáceos y peces en la plataforma continental y en aguas profundas. El pulpo y el calamar gigante son temidos por los buceadores, tanto por sus potentes y peligrosos picos como por los brazos y tentáculos provistos de ventosas. Por su cuerpo blando, estos animales son desconocidos como fósiles; sin embargo, la sepia posee una lámina blanca porosa (el hueso de sepia) de cinco a 30 centímetros de longitud, que es frecuente encontrar en las playas.





Los crustáceos

ARTROPODOS

QUELICERATOS XIFOSUROS	CRUSTACEOS CIRRIPEDOS	CRUSTACEOS ESTOMATOPODOS	CRUSTACEOS DECAPODOS	CRUSTACEOS ANFIPODOS	CRUSTACEOS ISOPODOS
					
Limulus	Lepas	Squilla	Palinurus	Talytrus	Limnoria

Los artrópodos, con más de un millón de especies diversas, constituyen el *phylum* más amplio en el reino animal.

Muchos artrópodos son insectos, los cuales están escasamente presentes en el medio marino.

En el mar, los artrópodos están representados principalmente por la clase de los crustáceos, animales de formas y dimensiones diversas, que varían desde las microscópicas pulgas de agua y los copépodos, pequeñísimos también, hasta los bálanos, los cangrejos de río y de mar, los bogavantes y las langostas. La forma más grande es el cangrejo gigante del Japón *(Macrocheira kaempferi)*, que puede pesar 25 kilogramos y medir hasta cuatro metros. Los crustáceos tienen miembros articulados y poseen esqueletos externos segmentados y apéndices también segmentados. El cuerpo presenta una simetría bilateral, con cabeza, tórax y abdomen. En todos los grupos de artrópodos es evidente una tendencia a la fusión de segmentos corpóreos.

Por ejemplo, la cabeza puede fundirse con el cuerpo y, en ciertos casos, con algunos o todos los segmentos torácicos que producen una división, conocida como cefalotórax.

En muchas formas, el cefalotórax está parcial o totalmente cubierto por un escudo protector, el caparazón. Los apéndices se encuentran a lo largo de todo el lado ventral del cuerpo, y están adaptados, en primer lugar, para la locomoción; pero sirven además para la respiración y la reproducción. Un apéndice característico es el que se ha transformado en pinza o en remo (en los artrópodos que nadan). La cabeza ostenta cinco pares de apéndices, dos pares de antenas, un par de mandíbulas y dos pares de quijadas. El número de apéndices torácicos varía desde un par hasta muchos.

El exoesqueleto consta de segmentos cuticulares duros, unidos entre sí de modo que se superponen parcialmente: así ocurre, por ejemplo, en los bogavantes y en las langostas. Está constituido por quitina, una sustancia impregnada de carbonato de calcio; esta quitina se hace más delgada en las junturas, permitiendo así el movimiento. El proceso de crecimiento de los crustáceos, llamado muda, consiste en la periódica sustitución del exoesqueleto y en la formación de un nuevo esqueleto de mayores dimensiones.

Los crustáceos tienen una notable capacidad de regeneración: el crecimiento de un nuevo miembro, por ejemplo, comienza inmediatamente después de desprenderse el anterior.

En muchos aspectos, los crustáceos tienen todos los atributos corpóreos esenciales que están presentes en el hombre y en los organismos superiores.

La estructura interna de los crustáceos consiste en un tubo digestivo que corre de la boca al ano; órganos excretores representados en general por uno o más pares de glándulas tubulares; un sistema circulatorio primitivo; órganos respiratorios (branquias), y un sistema nervioso primitivo pero eficaz.

En la mayoría de los crustáceos, los sexos están separados. Estos animales, como los vertebrados, se reproducen por unión de los sexos opuestos. Comúnmente, la hembra conserva los espermatozoides del macho hasta que los huevos han madurado para ser puestos. En los cangrejos, las hembras llevan los huevos en los miembros abdominales, manteniéndolos así hasta que eclosionan. Tras la eclosión, los jóvenes pasan por numerosos estadios larvarios, y no tienen a primera vista semejanza alguna con los progenitores.

De las aproximadamente 26.000 especies de crustáceos vivos se conocen ocho subclases: los cefalocáridos, los branquiópodos, los ostrácodos, los mistacocáridos, los copépodos, los branquiuros, los cirrípedos y los malacostráceos. Los cefalocáridos son un pequeñísimo grupo de tres especies solamente. Se trata de organismos microscópicos encontrados en algunas localidades del Atlántico a profundidades que llegan a los 400 metros.

Los branquiópodos comprenden por lo menos 800 especies. Su nombre significa animales «que tienen branquias en vez de patas». Sus patas, en efecto, fungen como órganos respiratorios. *Artemia,* el género más conocido, tiñe de rojo o marrón las aguas del mar.

El orden de los cladóceros, también llamados «pulgas de agua», que pertenece igualmente a los branquiópodos, es otro ejemplo de animales que viven en cantidades enormes en las aguas dulces y de mar, constituyendo la dieta principal de muchos peces.

Los ostrócodos, que abarcan más de 2.000 especies, son también animales diminutos, cuya longitud va de uno a cinco milímetros. Los mistacocáridos son organismos microscópicos primitivos con pocas especies, que se encuentran en las aguas intersticiales de las playas arenosas marinas.

La subclase de los copépodos, cuyo nombre significa «patas en remo», es un gran grupo de organismos preferentemente planctónicos, con más de 5.000 especies, cuya longitud es en general inferior a los 10 milímetros. Por ser tan abundantes, los copépodos constituyen el alimento de muchos animales marinos. Los branquiuros, con por lo menos 75 especies, están presentes como parásitos de los peces.

Los cirrípedos viven en las costas rocosas marinas y son permanentemente sésiles. Se encuentran también en las instalaciones portuarias sumergidas y en los cascos

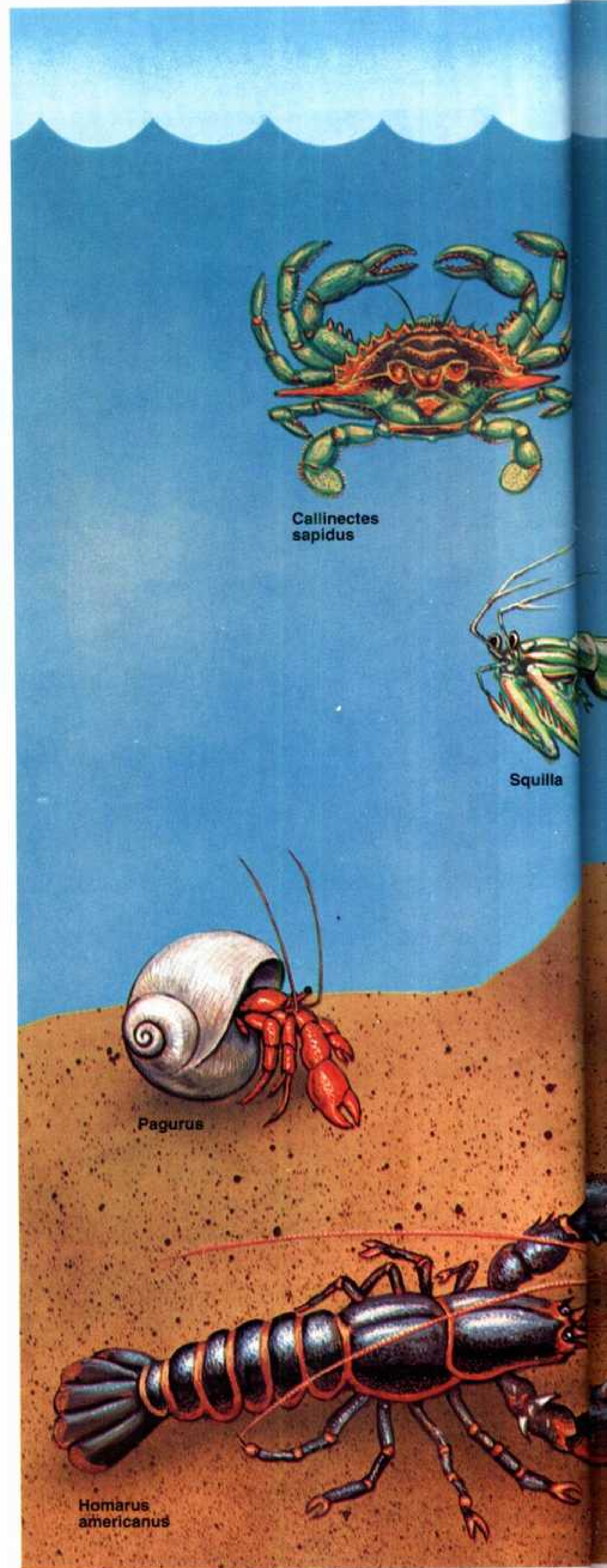


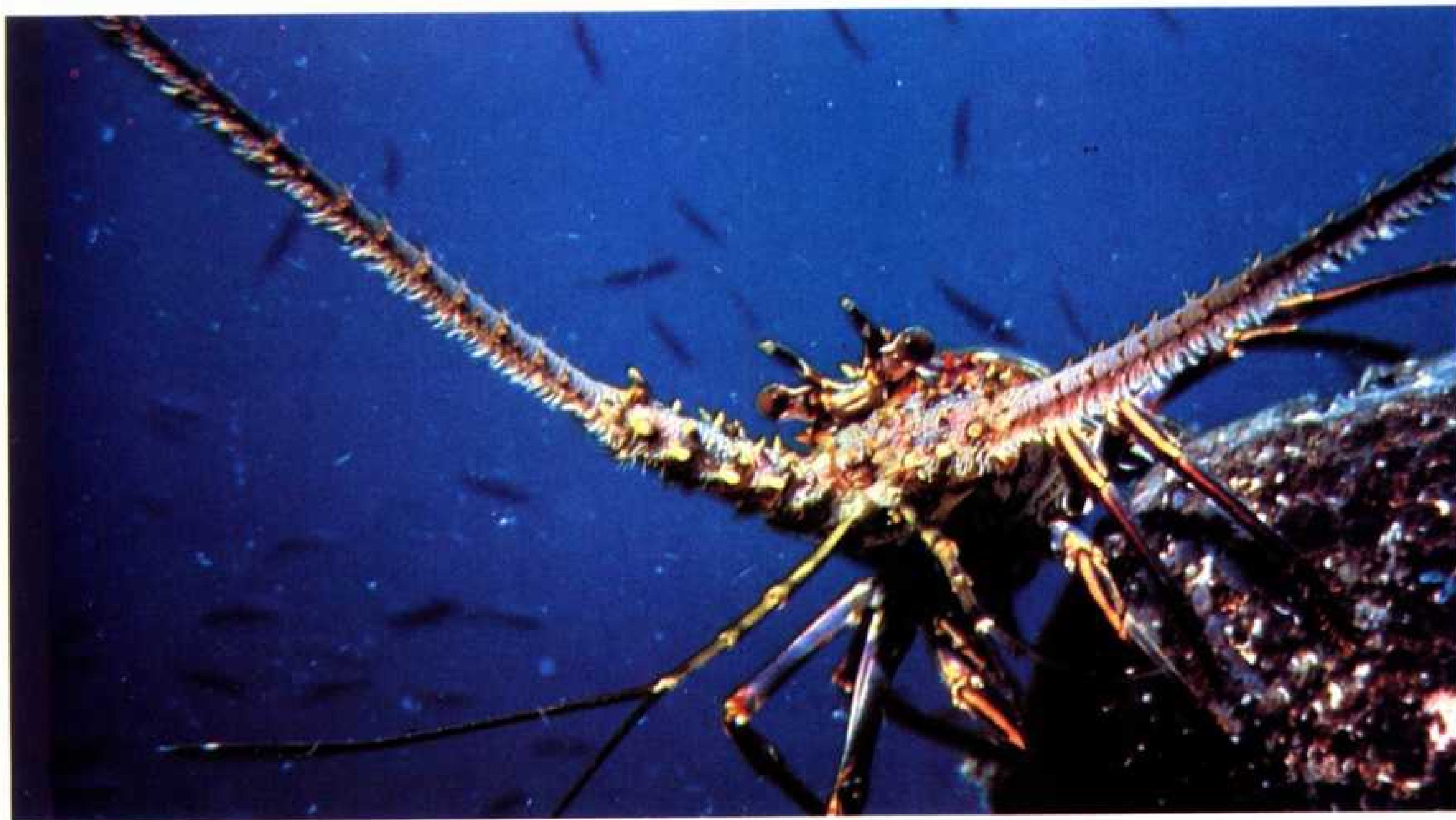


La reproducción de los crustáceos. *Entre la notable variedad de formas de los artrópodos (esquema de la página anterior, la subdivisión de las clases marinas), que constituyen casi el 75 por 100 de las especies del reino animal, la clase de los crustáceos es, desde el punto de vista de la organización corporal, la más representativa. En el dibujo de arriba se representa el ciclo vital de un crustáceo perteneciente a los peneidos, en los cuales la reproducción se inicia con la puesta de los huevos ya fecundados por parte de las hembras, mientras para todos los demás crustáceos estas últimas llevan los huevos entre los apéndices abdominales. Efectuada la puesta, los huevos pasan por las fases larvarias en las que, en general, se desarrollan individuos de formas diversas de las de los adultos. El desarrollo de los* Penaeidae *comprende los estadios larvarios de nauplius, mysis y posmysis; después de las fases de larva, el individuo joven se traslada a aguas poco profundas donde completa su crecimiento. Aquí arriba se observan imágenes de un estadio larvario intermedio de crustáceo, la zoea, caracterizado, entre otras cosas, por un inicio de segmentación abdominal.*

de los barcos. Comprenden cerca de 900 especies; son marinos, tienen aspecto de un quisquilla y están encerrados en una vaina compuesta de numerosas placas calcáreas. Los ejemplares más conocidos pertenecen a los géneros *Balanus* y *Balanomorpha*. En la economía del mar, los bálanos son una constante amenaza para las embarcaciones. Se adhieren también a las aletas de las ballenas.

La subclase malacostráceos, que abarca más de 1.800 especies, incluye los cangrejos, langostas, bogavantes y gambas. Los isópodos y los anfípodos son crustáceos muy semejantes entre sí; parecen quisquillas y abundan en las aguas dulces y saladas. Los primeros incluyen las cochinillas, y se encuentran en los detritos que cubren el fondo, en las aguas dulces y saladas; en general viven libremente, pero en algunos casos pueden parasitar a los peces. Los segundos están representados por las especies *Armadillidium vulgare* y *Orchestia platensis* y por muchas formas planctónicas; son conocidos como los mejores barrenderos del mar porque se nutren de organismos muertos. Por otra parte, algunos anfípodos destruyen las instalaciones fijas de madera de los puertos. Otros, además, como *Cyamus*, el piojo de las ballenas, son parásitos. Representan un abundante recurso alimentario para muchos peces oceánicos (atunes y caballas) y bentónicos, y para los pingüinos del Antártico. Aunque son normalmente animales de modestas dimensiones, isópodos y anfípodos cuentan también con representantes gigantescos. El isópodo bentónico gigante *Bathynomus giganteus* alcanza los 40 centímetros de longitud y se encuentra a grandes profundidades y en los escarpes continentales de todos los mares. El anfípodo de mayor tamaño, *Alicella gigante*, es completamente transparente y posee óptimas capacidades miméticas. Los eufausiáceos tienen un color rojo brillante y son bioluminiscentes. Miden menos de tres centímetros de longitud, pero abarcan también especies gigantes, como *Thysonopoda cornuta*, con cerca de 10 centímetros. Conocidos como krill, son la principal fuente alimentaria de las ballenas; una ballena azul de tamaño mediano consu-





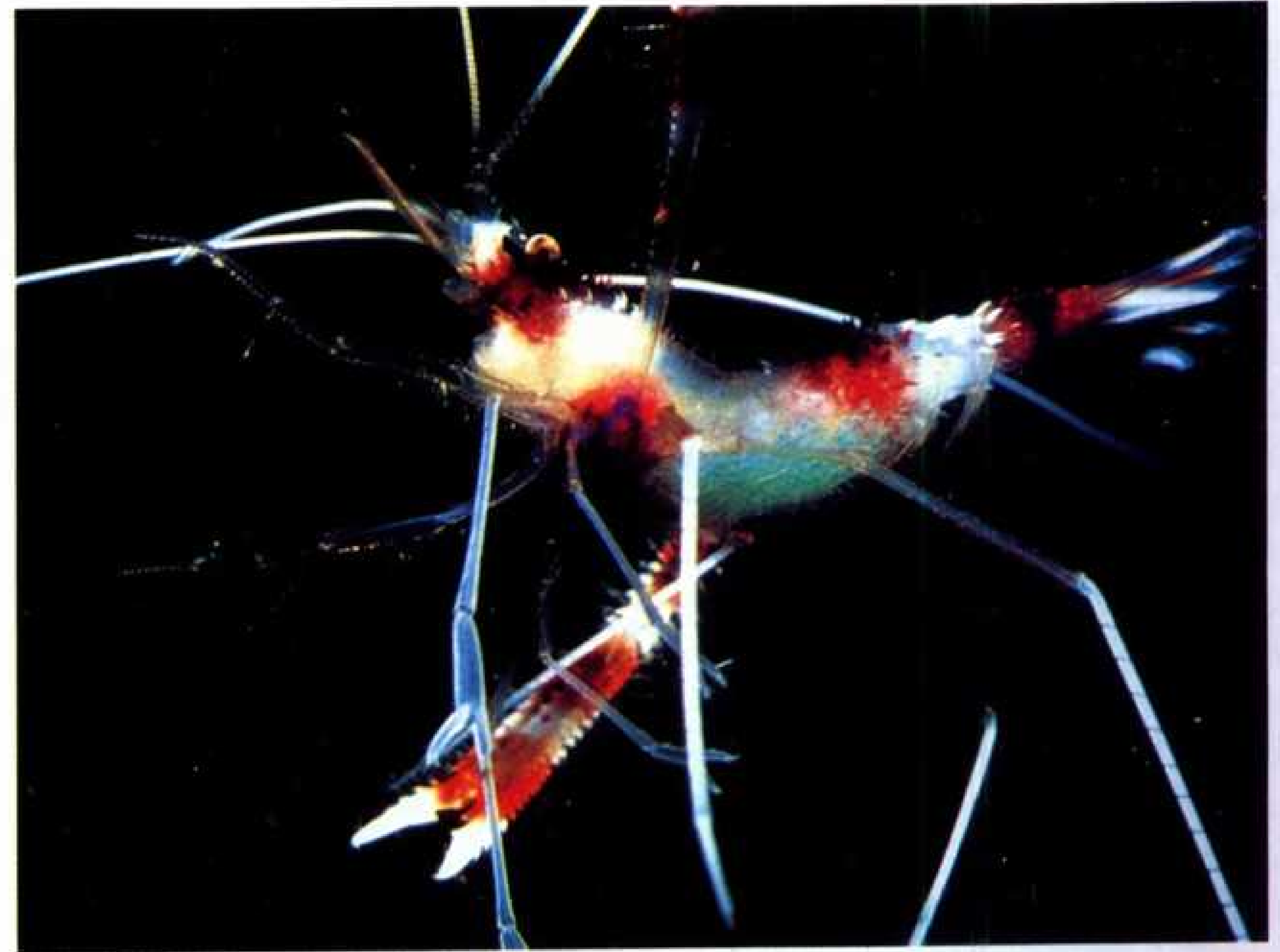




Dónde viven los crustáceos. *Los crustáceos pueblan los más diversos ambientes: algunos pueden quedar al descubierto durante la bajamar, otros alcanzan profundidades de varios miles de metros. Existen especies que viven en las aguas próximas a las costas, como el cangrejo de roca (en la extrema izquierda) y las langostas (arriba). Algunos crustáceos parasitan a animales de la misma clase o de clases diversas. Los paguros (a la derecha) acostumbran a meter el abdomen en las conchas de los moluscos gasterópodos y esconderse en ellas. Los crustáceos cirrípedos se fijan con las glándulas adhesivas de las antenas a ciertos objetos sumergidos, como la quilla de un barco o una roca. Entre éstos se cuenta* Lepas fascicularius *(aquí a la izquierda), que puede parecer un molusco. A la extrema derecha, una gamba de formas estilizadas. Arriba, algunos crustáceos en su ambiente característico.*

Palaemon
Scolpellum
Ocypode albicans
Balanus
Uca pugilator
Palinurus
Limulus polyphemus
Ovalipes ocellatus
Libinia emarginata
Panopeus herbestii
Hyas coarcticus









me casi tres toneladas en una comida. Artrópodos con estructura sumamente organizada se encuentran entre los hallazgos fósiles del Cámbrico inferior (hace cerca de 570 millones de años). Los primeros y más variados representantes son un grupo hoy extinguido que proliferó mucho durante el Paleozoico. Los trilobites llegaban a medir 50 centímetros, aun cuando la mayoría fuera de dimensiones más modestas (de dos a cinco centímetros). Poseían un exoesqueleto de quitina dividido en tres partes; el animal podía así enrollarse para protegerse.

Al crecer, los trilobites debían sustituir completamente el exoesqueleto (mudando), constituyendo de inmediato un nuevo y mayor revestimiento protector. Por este motivo, los paleontólogos encuentran a menudo considerables cantidades de restos de trilobites, frecuentemente con la cabeza y la cola separadas. Aunque podían nadar, los trilobites eran fundamentalmente bentónicos. Algunas especies se escondían en el fango, mientras otras nadaban cerca de la superficie. Las primeras desarrollaron una cabeza en forma de bola, con los ojos muy atrás respecto del margen frontal; las pelágicas, en cambio, tenían una cabeza más globular, con los ojos situados cerca de este margen.

Que la distribución de las especies bentónicas fuera más limitada que la de las formas pelágicas, resulta importante para los geólogos, pero la rápida especialización y evolución de las primeras han permitido utilizarlas como fósiles guía. Otro *subphylum* extinguido de los artrópodos son los euriptéridos, algunos de los cuales alcanzaban los dos metros de longitud *(Pterygotus)*. La larga cola puntiaguda, o telson, atestiguaba la actividad excavadora de estos animales.

Afines a los euriptéridos son los actuales xifosuros, una clase representada hoy por un solo género, *Limulus*. Esta criatura es un «fósil viviente» que sobrevive todavía y se propaga en gran número en los canales y bahías de aguas poco profundas de la zona intercotidal, en los mares templados y tropicales americanos y asiáticos. Respiran mediante branquias, y su fisiología nos documenta mucho sobre las condiciones de vida en los mares de la era Paleozoica.

No hay que olvidar que el más amplio orden de los artrópodos, y en realidad de todas las criaturas vivientes, son los insectos. No obstante, resulta extraño que ninguno se haya adaptado a la existencia subacuática. Sin embargo, muchas formas larvarias se desarrollan en agua dulce, aunque ninguna es propiamente marina. Los picnogónidos son también un *subphylum* de los artrópodos; se parecen a las arañas y comprenden esencialmente formas marinas. Tienen un cuerpo ancho y aplanado sin quelas o pedipalpos. Su característica morfológica principal es, en muchas especies, la reducción del cuerpo en una estructura en tubo, con patas laterales y un órgano parecido a una probóscide, que utilizan para alimentarse como dispositivo de succión y de filtrado. Se conocen cerca de 600 especies, que viven desde la zona intercotidal hasta profundidades de más de 600 metros.



El **Limulus.** *Este animal se caracteriza por un revestimiento corpóreo compacto y de color pardo que protege el lado superior del cuerpo, y por una aguda espina caudal; cuenta, además, con un único ojo. Una pareja de* Limulus polyphemus *ha sido captada aquí en una excepcional secuencia fotográfica durante algunas fases del apareamiento. Arriba, desde la izquierda, y en la página siguiente, desde arriba: la hembra se acerca al macho y se adhiere a él sobre una piedra; durante la cópula lo arrastra luego por el fondo. Aquí al lado: un ejemplar de araña de mar, perteneciente a los picnogónidos.*

Los equinodermos

Estrellas de mar, ofiuros, erizos de mar, cohombros y plumas de mar, comunes y muy abundantes en los mares, eran ya conocidos del hombre antiguo. El nombre equinodermo deriva del griego *echinos,* espinoso, y *derma,* piel. Su cuerpo tiene una simetría radial con un esqueleto calcáreo consistente en espículas o placas presentes en la pared corporal.

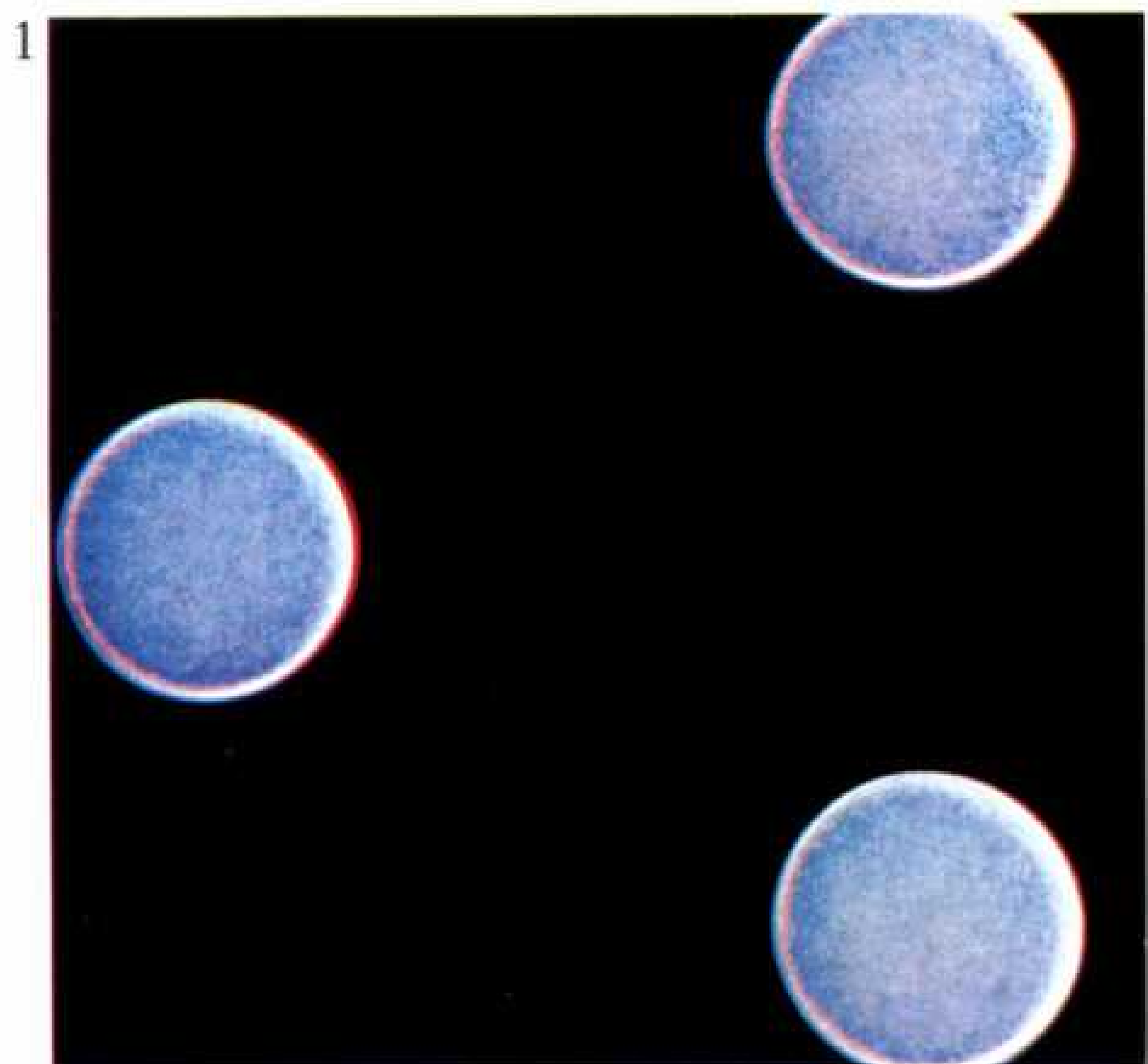
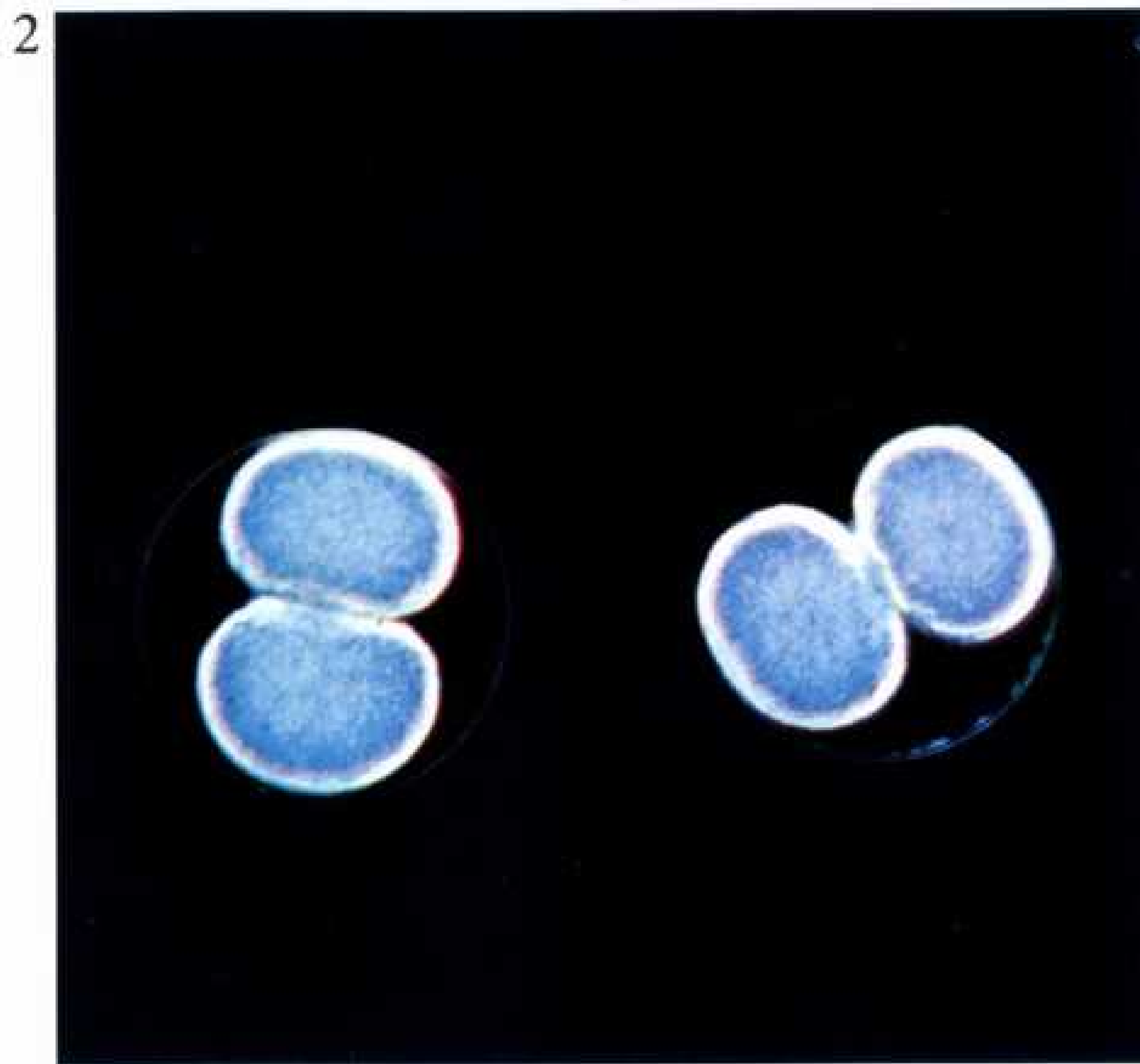
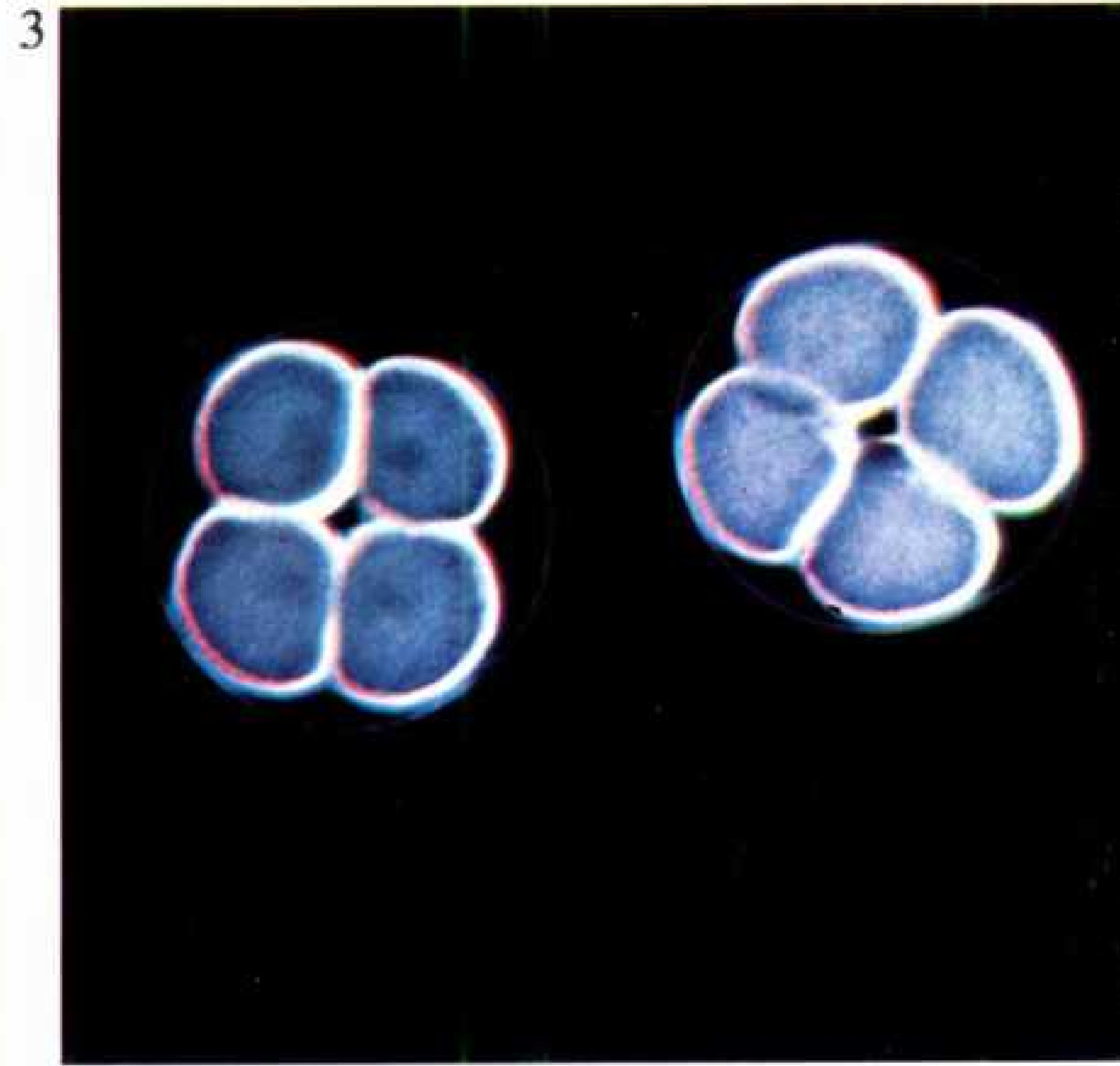
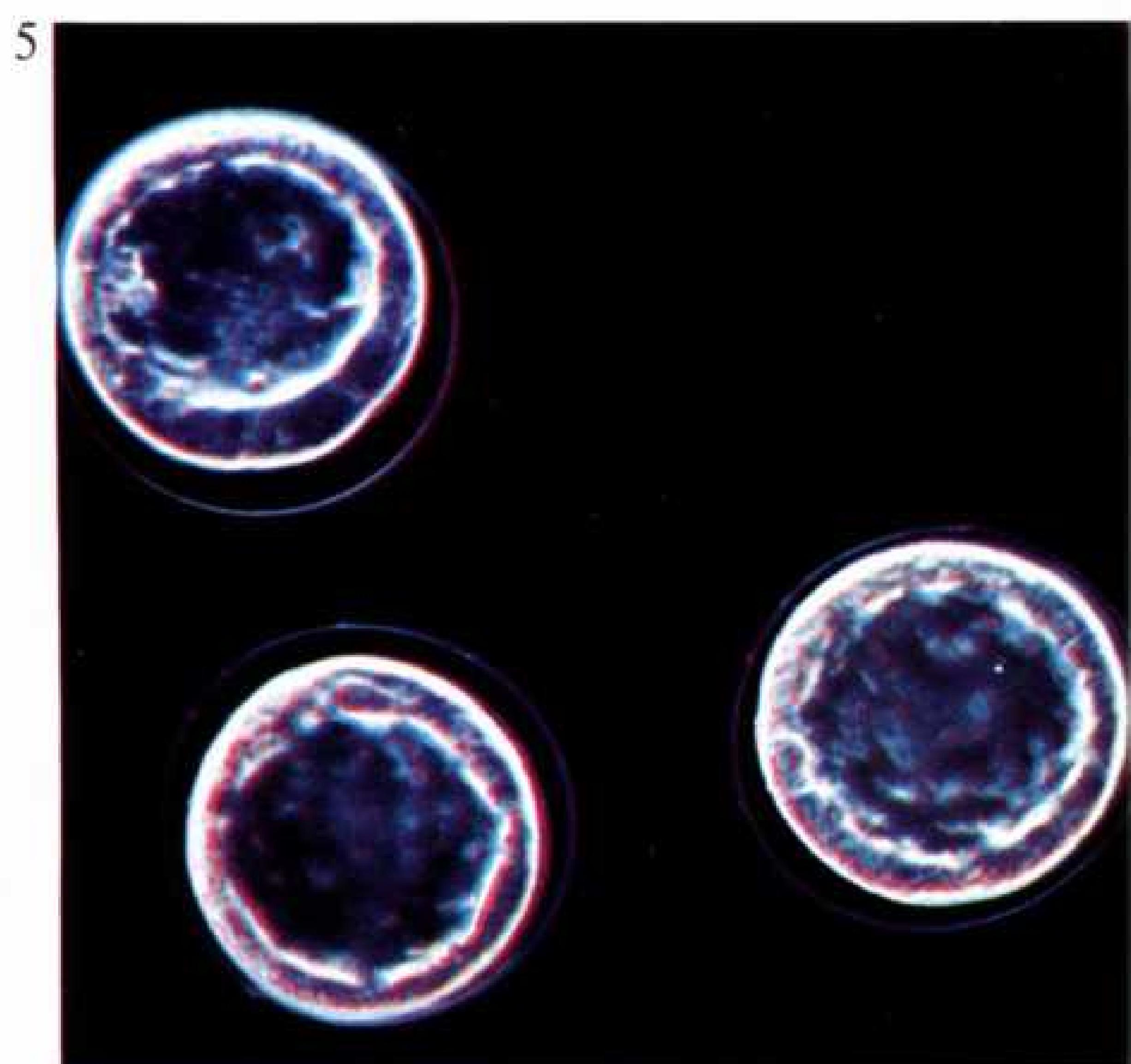
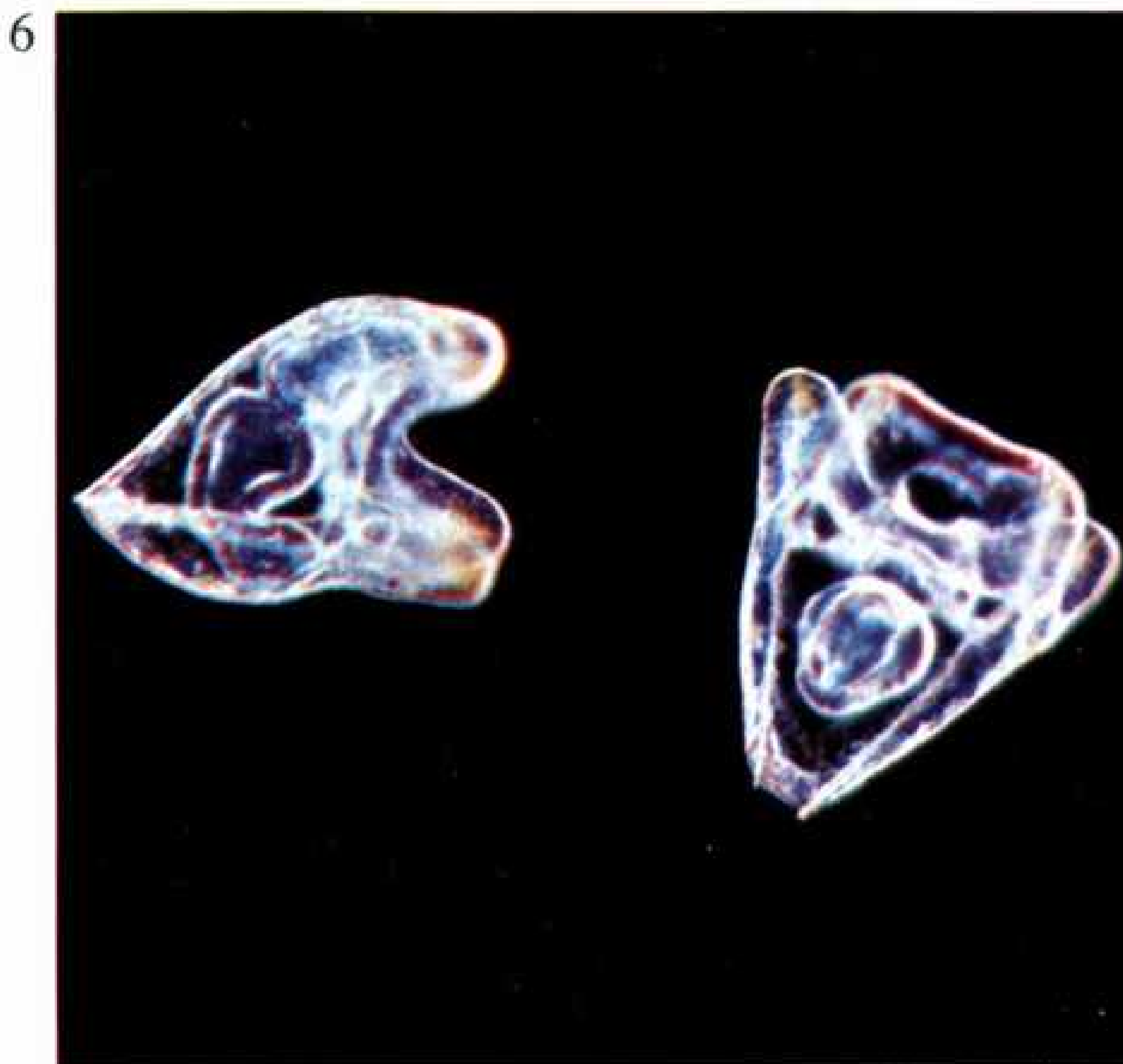
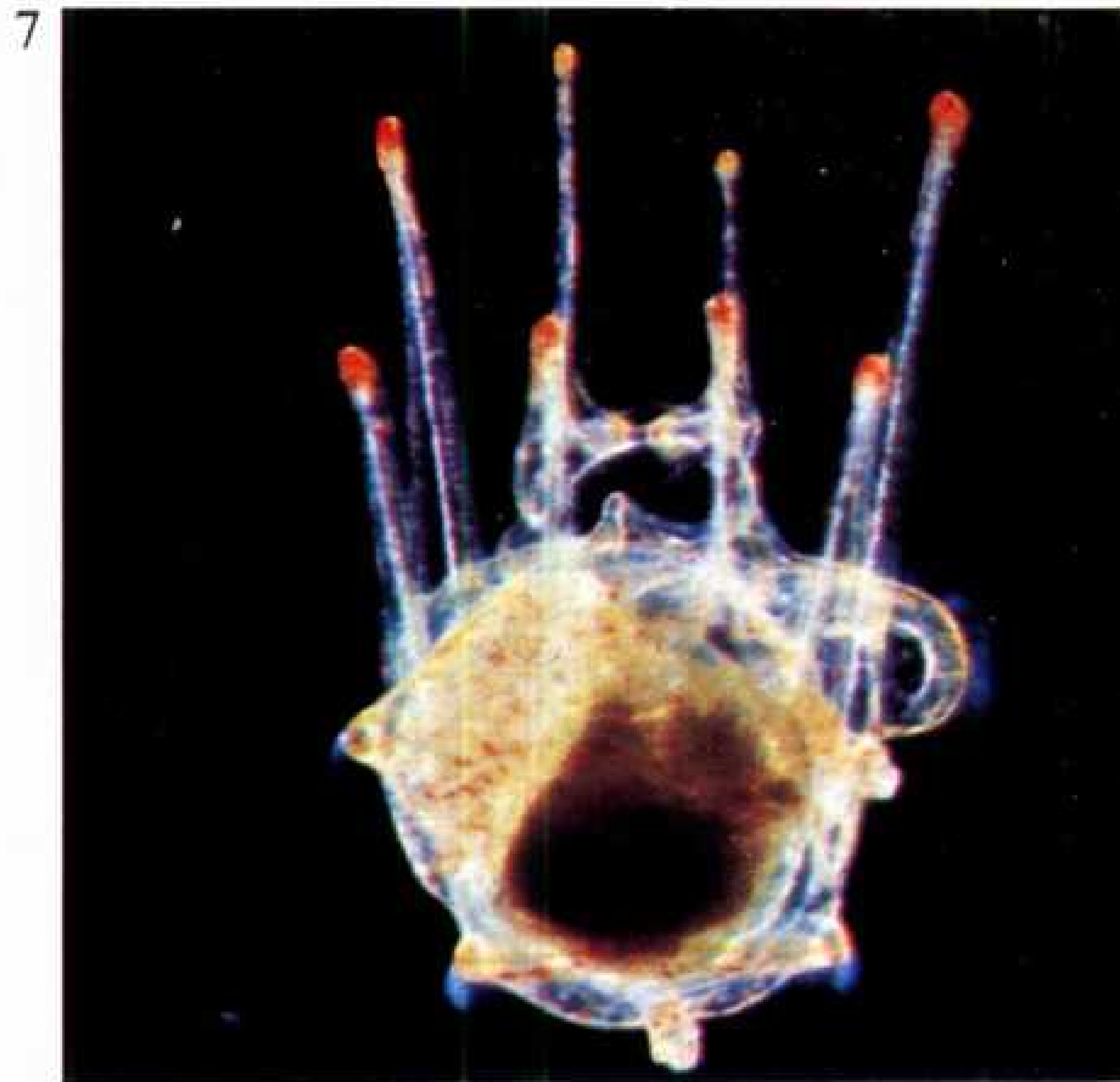
La característica más marcada es el sistema hidrovascular, que consiste en una red hidráulica de minúsculos tubos que terminan en una serie de pedicelos ambulacrales de forma tubular y provistos de ventosa; éstos tienen una función de adherencia y de locomoción, sirviendo también para capturar las presas.

El espacio interno de la mayoría de los equinodermos está ocupado por sus órganos digestivos y reproductores. El tubo digestivo está bien desarrollado y corre de la boca al ano, bastante próximos entre sí. Aunque algunos equinodermos son hermafroditas, en la mayoría de los casos los sexos están separados. Algunas especies incuban su prole, mientras otras emiten al mar huevos y espermatozoides que, en este ambiente, se unen en la fecundación. Los equinodermos son en general animales de reducidas dimensiones (de uno a 50 centímetros). Se conocen ejemplos fósiles que se remontan al Cámbrico y también algunas plumas de mar del Paleozoico, que llegaban a los 20 centímetros de longitud. Hoy son sobre todo bentónicos y se encuentran en cualquier parte del mar y a cualquier profundidad. Pocas formas son las que pueden nadar. La mayoría es carnívora, arrastrándose por el fondo en busca de pequeños animales, pero también de plantas y de sustancias orgánicas. Los erizos de mar son en cambio exclusivamente vegetarianos. Las estrellas de mar pueden abrir con sus brazos ostras y almejas. Algunas especies se nutren de corales: pueden diezmar literalmente las barreras coralinas y, en el caso de las ostras, sus cultivos.

Entre los equinodermos más conocidos se cuentan los asteroideos, las estrellas de mar, que incluyen 1.600 especies presentes en la mayor parte de las costas marinas, sobre todo cerca de las costas rocosas o de los fondeaderos, pero también en los fondos arenosos y fangosos de las profundidades abisales. Cuanto mayor es la profundidad, tanto más estable es el ambiente y, por consiguiente, la historia geológica, y más uniforme también la población. Una mayor variedad se encuentra en las aguas poco profundas.

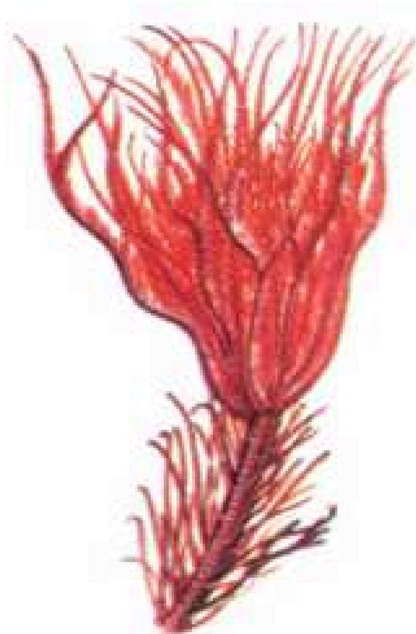
Los ofiuroideos, con sus movimientos elegantes, serpentiformes, derivan su nombre de *óphis,* que en griego significa «serpiente» y que se refiere al rápido movimiento de los brazos. Los ofiuros tienen un disco central claramente subdividido por los brazos, siempre cinco, que sirven para moverse y alimentarse. Su dieta consiste en pequeños crustáceos, moluscos y otros animales, además de residuos, particularmente abundantes en los fondos de los mares profundos. Se conocen actualmente cerca de 2.000 especies. Se encuentran también en aguas poco profundas, escondidos bajo las piedras, entre corales muertos o sumergidos en el fango.

Los erizos de mar, los clipeasteroideos (ericillos de arena) y los espantágidos (erizos cordiformes) constituyen la clase de los equinoideos, los animales más espinosos que hay en el mar, pero inofensivos. Sus huevos son muy apreciados. Su cuerpo redondeado no presenta brazos móviles. Su escondrijo favorito lo constituyen las cavidades que ellos mismos excavan en las rocas costeras; los dólares de la arena se encuentran, parcialmente enterrados, en los fondos arenosos a lo

1

2

3

5

6

7


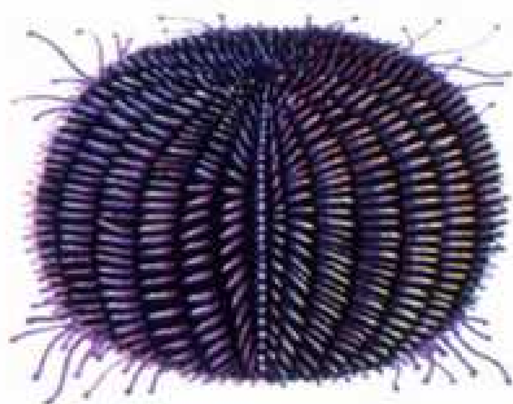
EQUINODERMOS

CRINOIDEOS



Metacrinus

EQUINOIDEOS



Sphaerechinus

ASTEROIDEOS



Coscinasterias

OFIUROIDEOS



Amphipholis

OLOTUROIDEOS



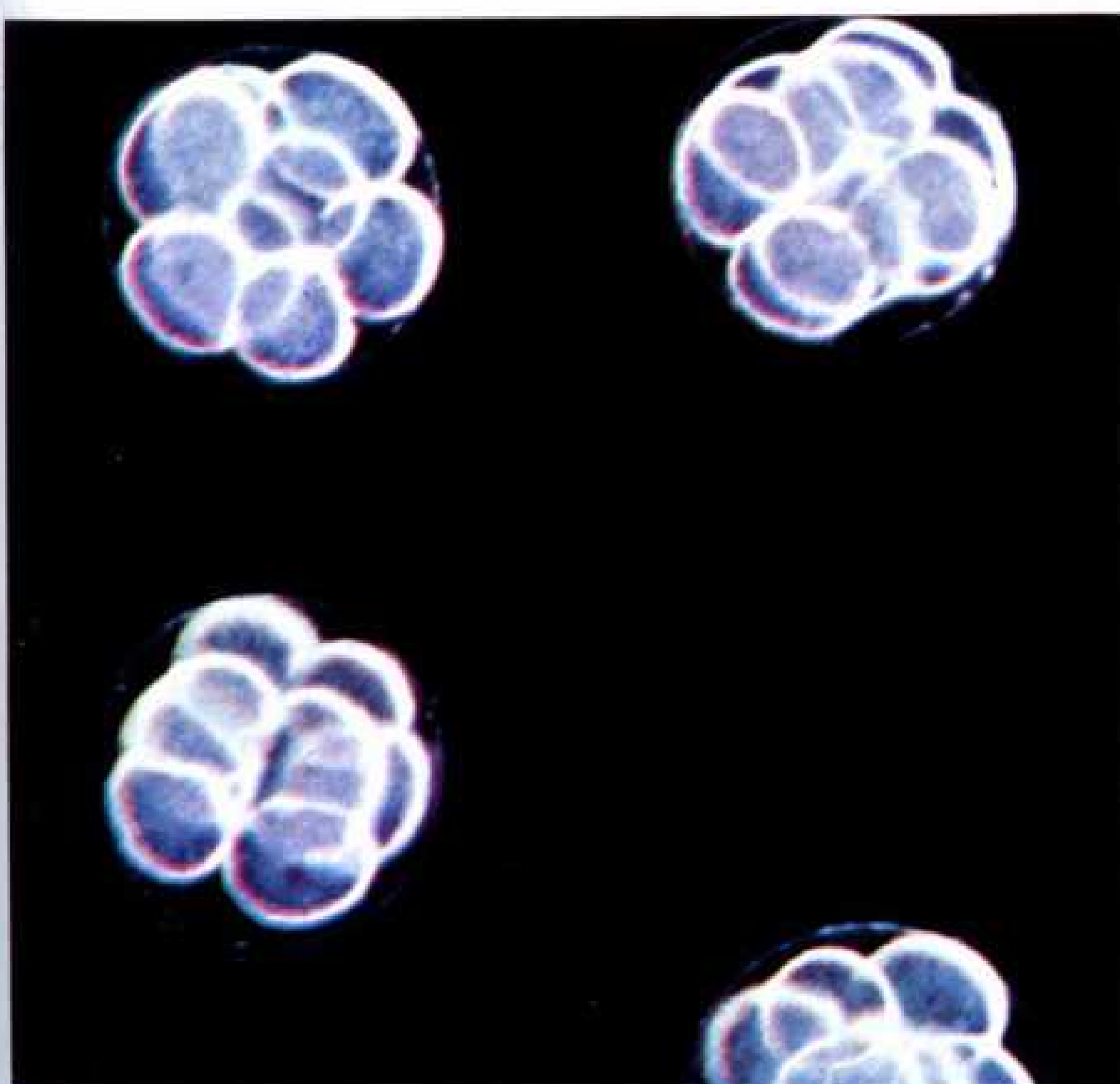
Cucumaria

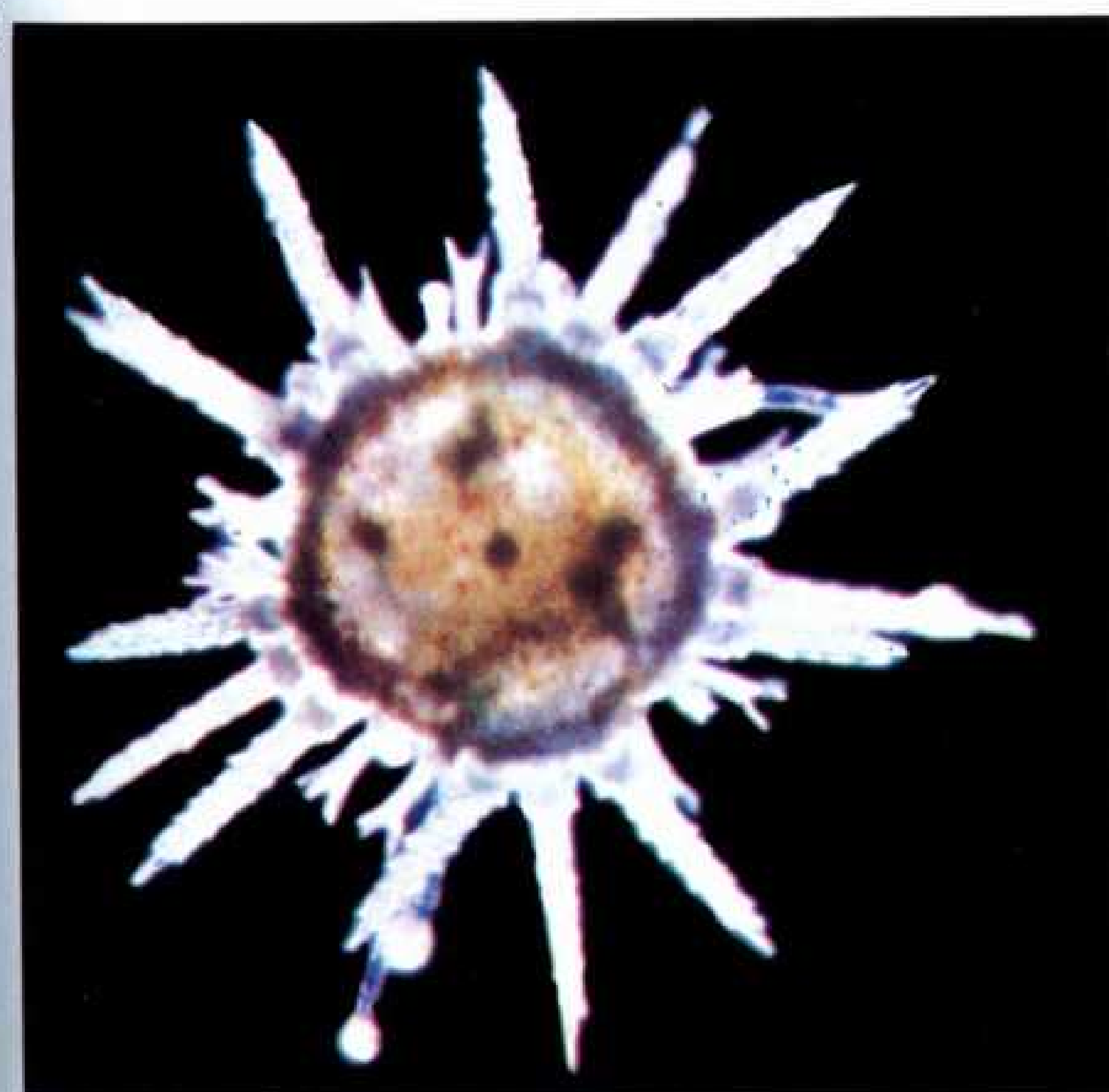
Un grupo importante. *Los equinodermos, animales exclusivamente marinos, constituyen uno de los grupos mejor caracterizados del reino animal. Son de simetría radial y tienen un dermoesqueleto formado por placas calcáreas que en las holoturias se reducen a elementos microscópicos. Están dotados de un sistema acuífero y ambulacral, formado por conductos a través de los cuales pasa el agua de mar, que permite moverse a los equinodermos.*

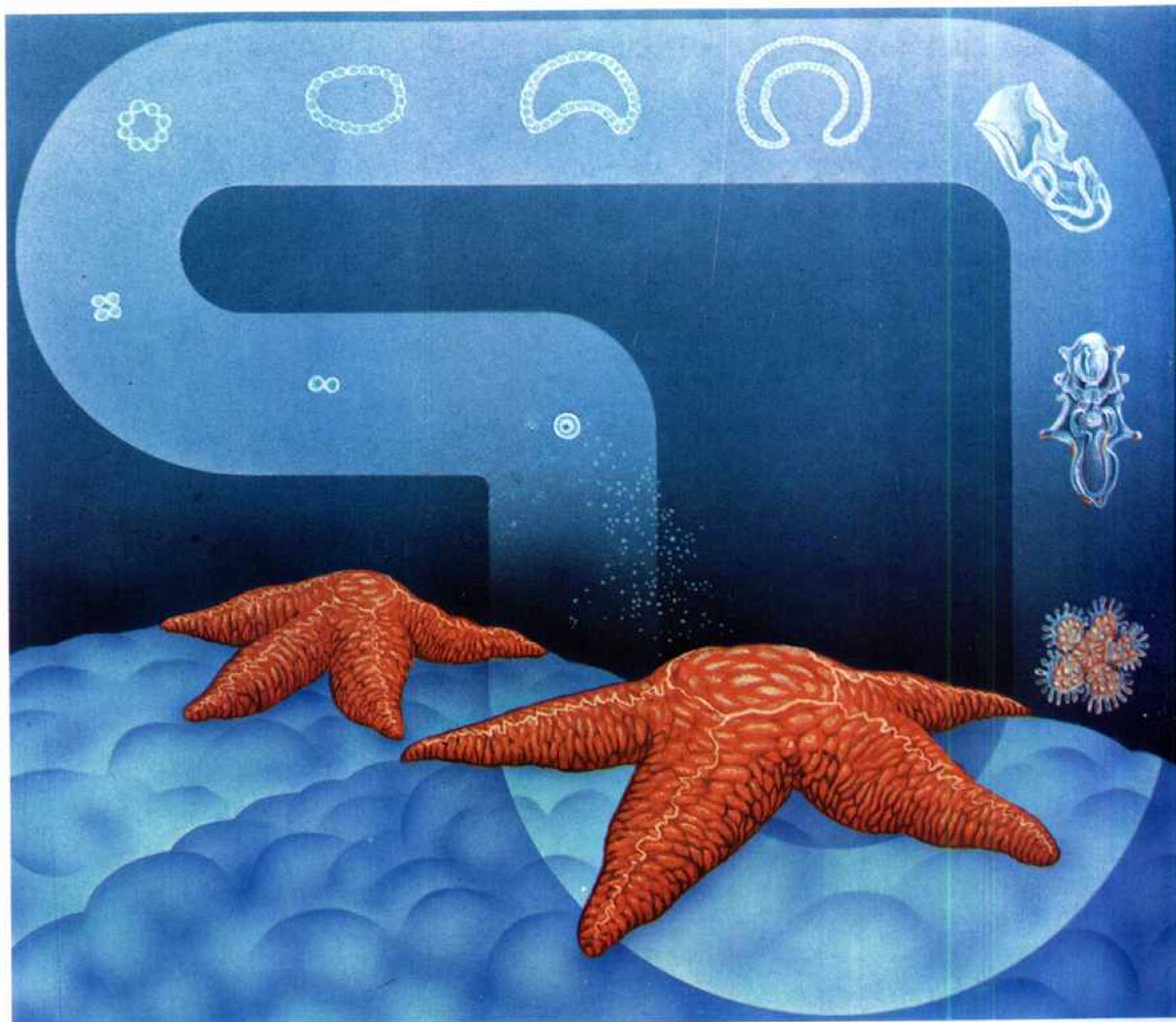
largo de las playas. Su dieta consta de algas marinas, pero también comen residuos y organismos muertos. Sus principales enemigos son los peces pequeños y las estrellas de mar. Actualmente se conocen cerca de 800 especies vivientes de equinoideos. Su fuerte exoesqueleto calcáreo ha hecho que los fósiles se conserven particularmente bien.

Los holoturoideos, o cohombros de mar, tienen forma de salchicha, de cuerpo blando, y están protegidos por una piel de consistencia coriácea. Hoy se conocen cerca de 900 especies que viven desde las lagunas de aguas poco profundas hasta las grandes profundidades oceánicas, alimentándose de detritos. En la fosa de las Kuriles, al norte de Japón, constituyen, en peso, más del 80 por 100 de la fauna.

Los crinoideos, comátulas y lirios de mar son equinodermos en forma de flor, anclados al fondo mediante un largo pedúnculo. Se encuentran por debajo de la línea de bajamar hasta profundidades superiores a los 8.000 metros. Abundaban en el Paleozoico (se conocen cerca de 2.100 especies fósiles). Hoy existen casi 800 especies. Su cuerpo consiste en un pequeño cáliz hecho de placas calcáreas y provisto de cinco brazos flexibles.







La reproducción de los equinodermos. *El huevo fecundado de un equinodermo experimenta una serie de divisiones que dan lugar al desarrollo de una larva. Esta, tras una complicada metamorfosis, se transforma en individuo adulto. A la izquierda, ciclo reproductivo del huevo (1-4), estadio embrional (5), dos estadios larvarios (6-7), erizo (8).*

Los cordados

Los tunicados o urocordados, un *subphylum* de los cordados, parecen haber sido predecesores de los vertebrados. Se consideran invertebrados porque carecen de un esqueleto rígido y, en la fase adulta, se parecen más a los invertebrados que a los vertebrados. El nombre de tunicados se refiere a la túnica cuticular que autosegregan, consistente en una especie de revestimiento del cuerpo en forma de bolsa.

Comprenden las ascidias, las salpas y las apendicularias. Su cuerpo es esencialmente cilíndrico o globular. Incluyen cerca de 1.600 especies.

La ascidia es un animal de cuerpo blando, encerrado en una estructura en bolsa (la túnica) fija al substrato. Tiene dos aberturas, la boca y la cloaca, en la parte superior. El agua de mar, que contiene plancton, es bombeada al interior por los cilios, pasa a través de un aparato filtrante y luego es bombeada nuevamente al exterior a través de la cloaca. Si se exprime al animal, sale un chorro de agua. La mayoría de las ascidias son hermafroditas. La reproducción se efectúa por gemación o es sexual.

Los larváceos, o apendicularios, son pequeños tunicados libres, de hasta cinco milímetros de longitud, transparentes y pelágicos, que nadan contrayendo sus colas curvadas.

Son miembros importantes del zooplancton, y desempeñan una función fundamental en la productividad biológica del mar.

Entre todos los tunicados sésiles, las ascidias son las que más se parecen a una bolsa. La mayoría se concentra en aguas poco profundas; su distribución se extiende, no obstante, hasta los 5.000 metros de profundidad.

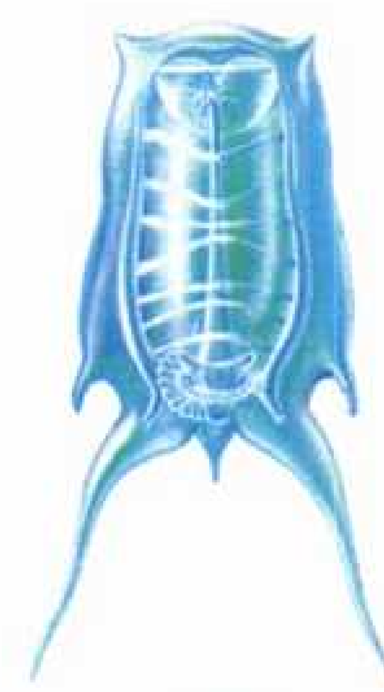
Las salpas pertenecen a la clase taliáceos. Son tunicados pelágicos y tienen cuerpo cilíndrico, rodeado de haces musculares. Frecuentemente solos, se unen para formar largas cadenas planctónicas. Los géneros más comunes son *Doliolum* y *Salpa*. Muy abundantes, desempeñan también una función importante en la economía marina como alimento de los peces pelágicos. Al carecer de partes duras no se sabe nada de los antepasados de los tunicados, pero pueden representar un importante vínculo de conexión los hemicordados, a los que pertenece *Balanoglossus*. A este grupo se asocian generalmente los miembros del orden extinguido *Graptolithina*, que prosperó al inicio del Paleozoico. Dada su costumbre de flotar, se difundieron rápidamente por todos los océanos, y, con una constante evolución, representan hoy día importantes fósiles guía; especies idénticas aparecieron al mismo tiempo en Australia y en Europa.

CORDADOS

ADELOCORDADOS — UROCORDADOS — CEFALOCORDADOS

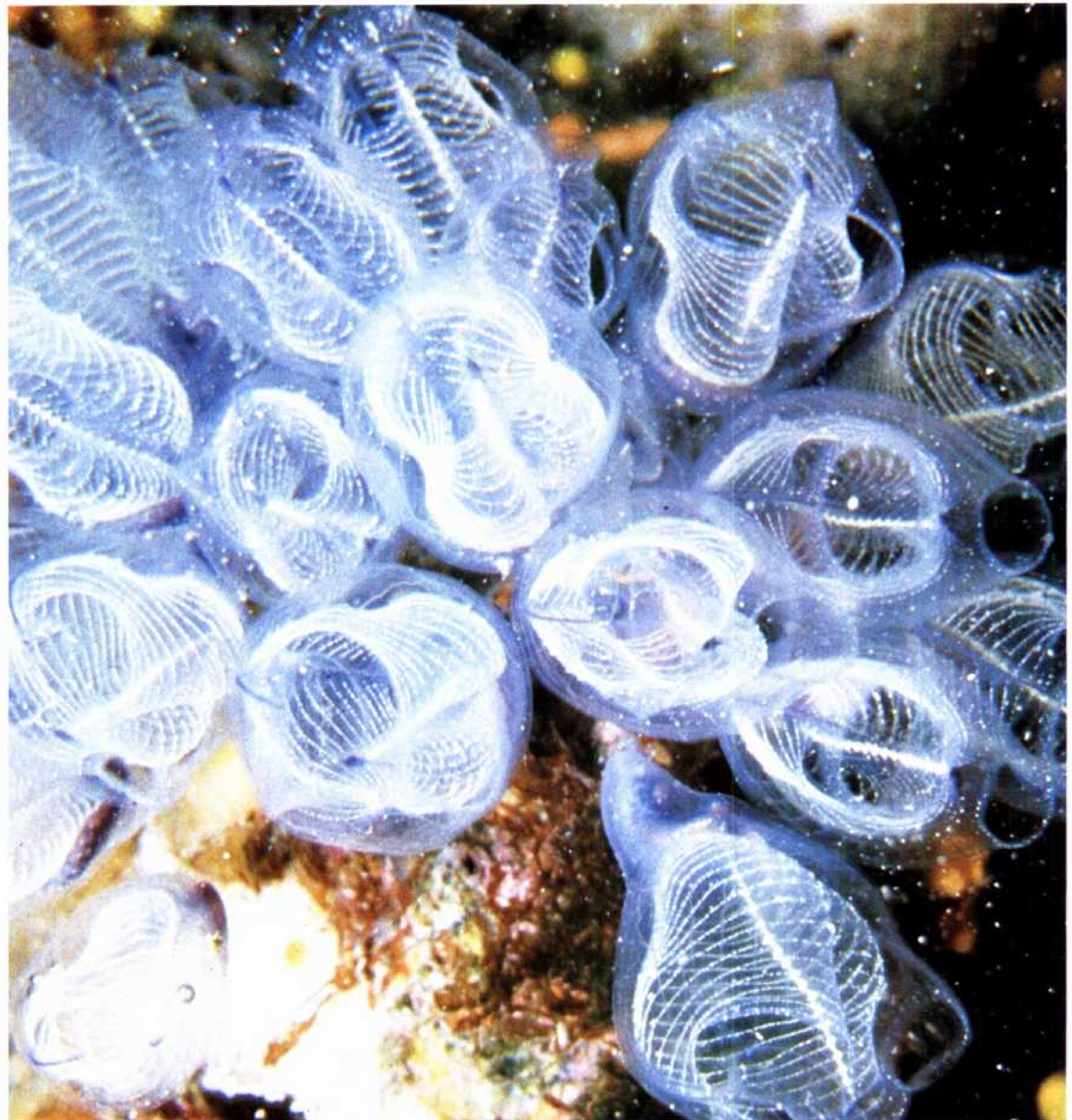


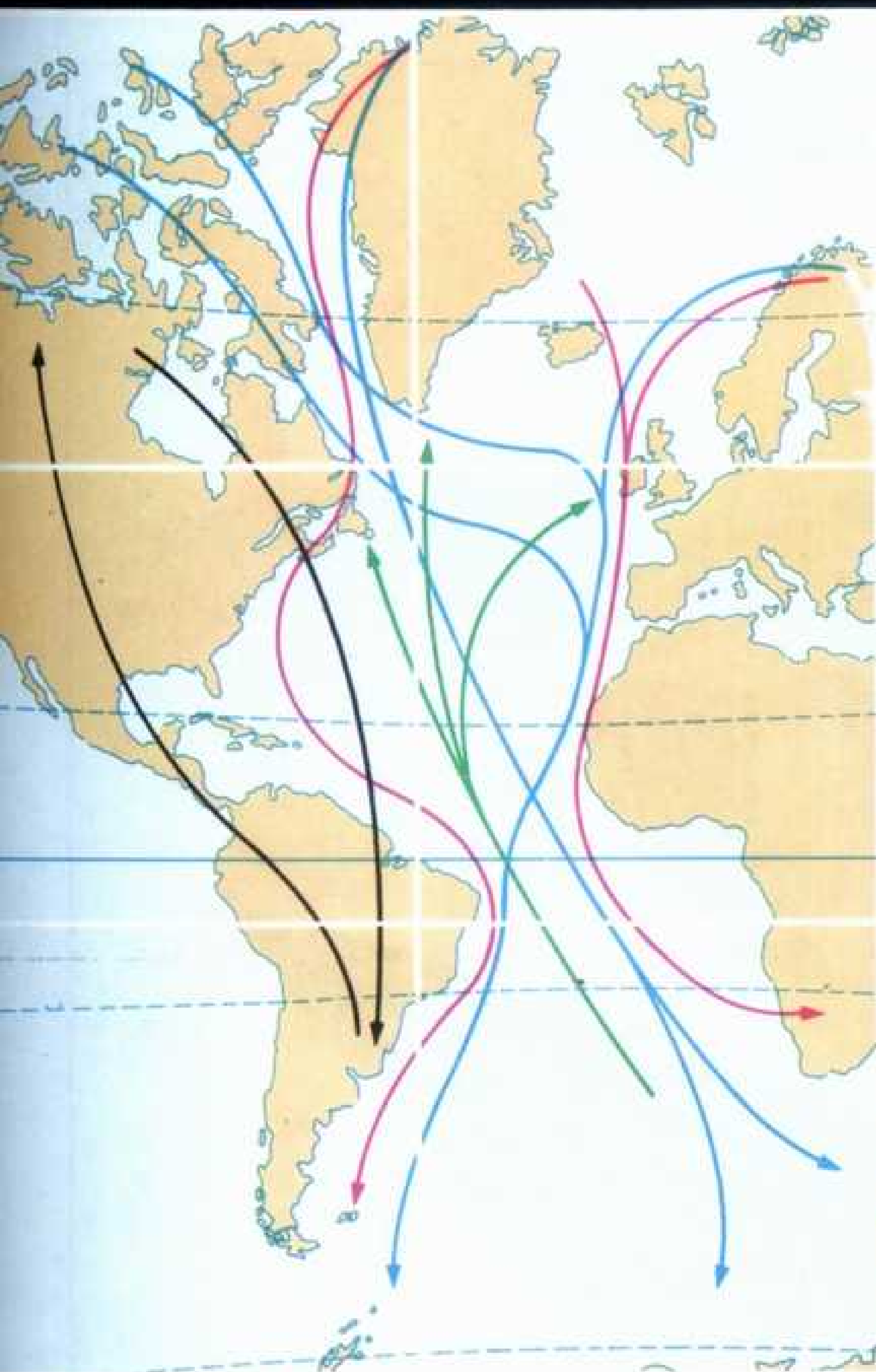




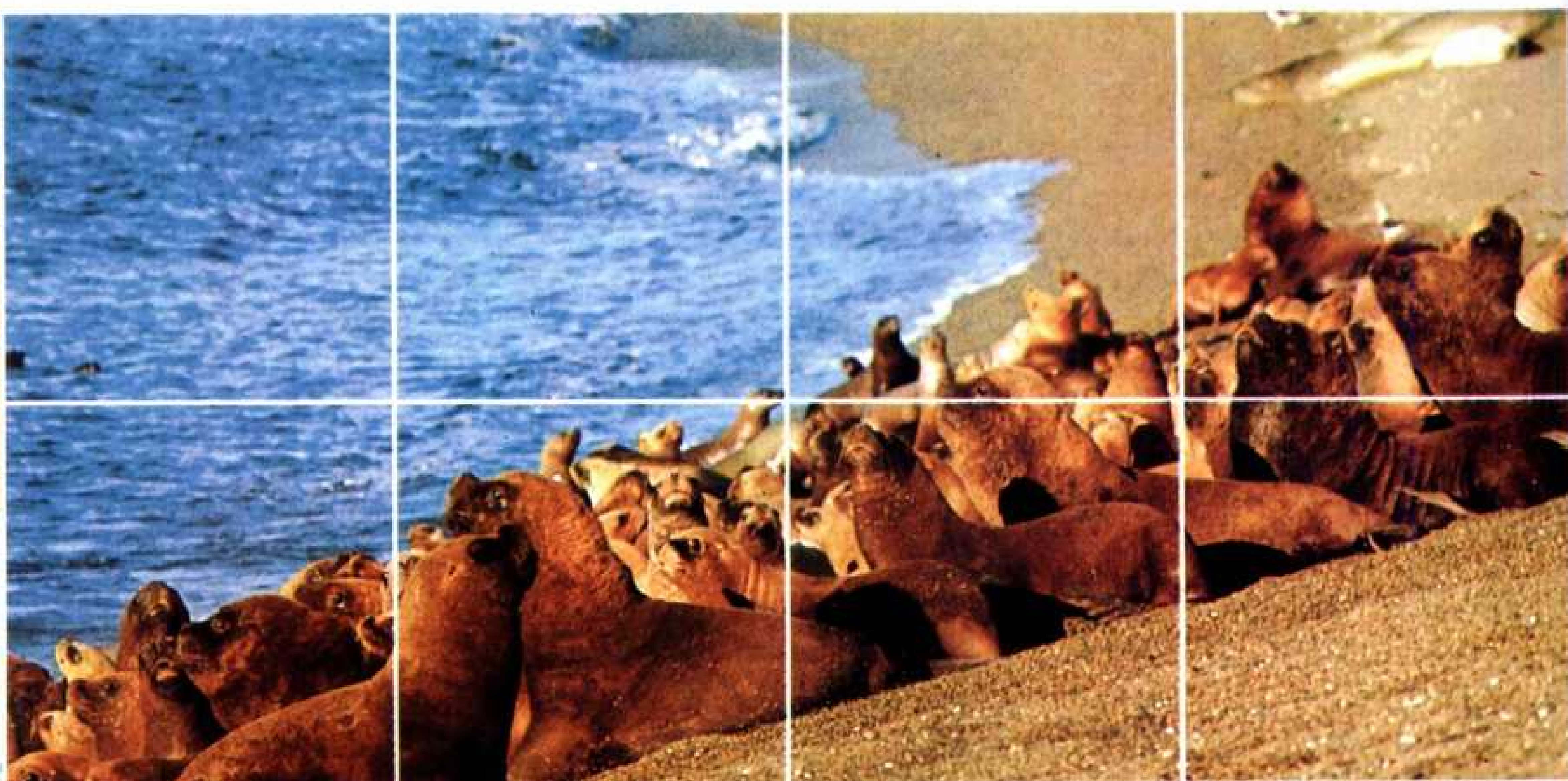
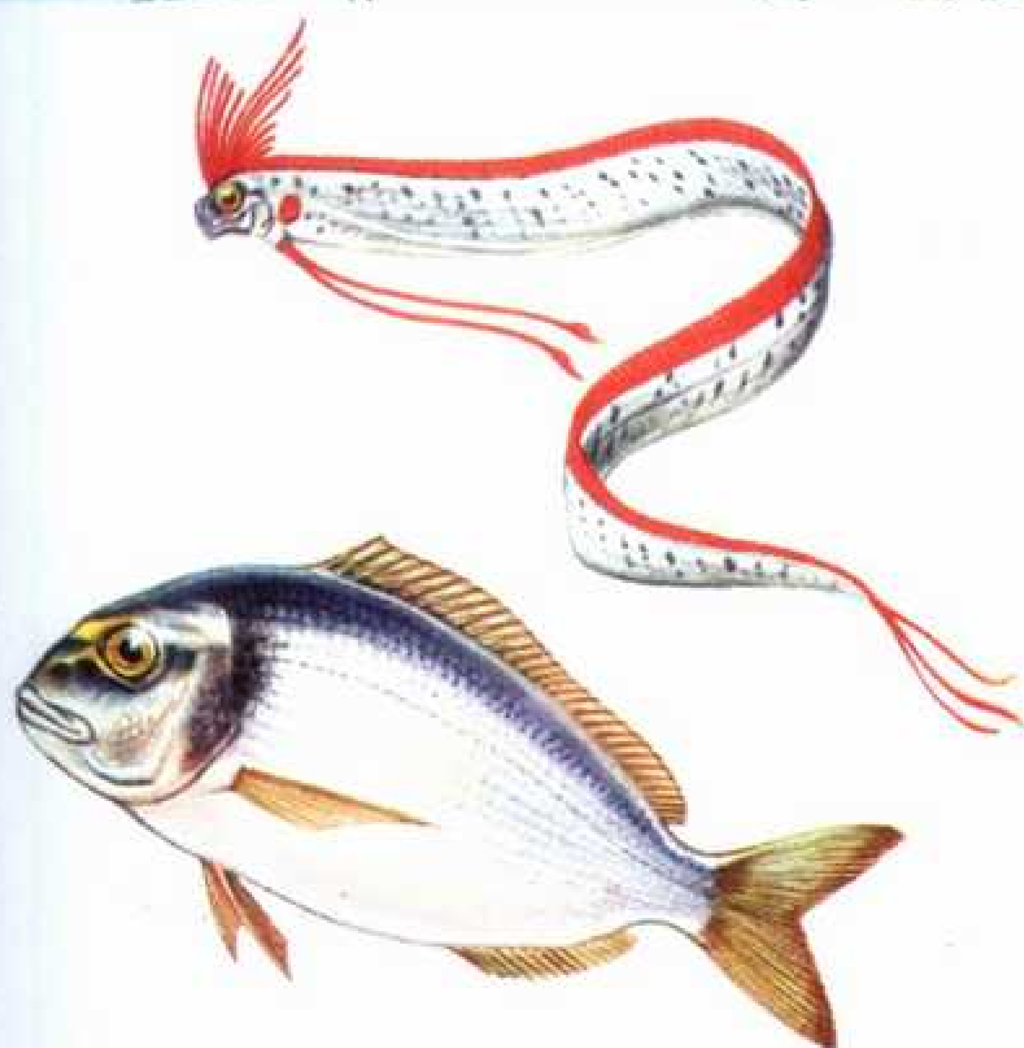


Un puente entre invertebrados y vertebrados. *Ascidias, salpas,* Balanoglossus *y otros cordados se sitúan en los niveles más elevados de la escala evolutiva de los invertebrados. Los adelocordados tienen el cuerpo dividido en tres partes: tronco, collar y probóscide (con la que penetran en los fondos blandos). Los urocordados se llaman también tunicados porque segregan un revestimiento en forma de bolsa. En los cefalocordados, el cordón dorsal recorre el cuerpo, estructura que especifica el tipo de cordados. En la fotografía de abajo:* Clavelina, *un urocordado, con su túnica transparente.*

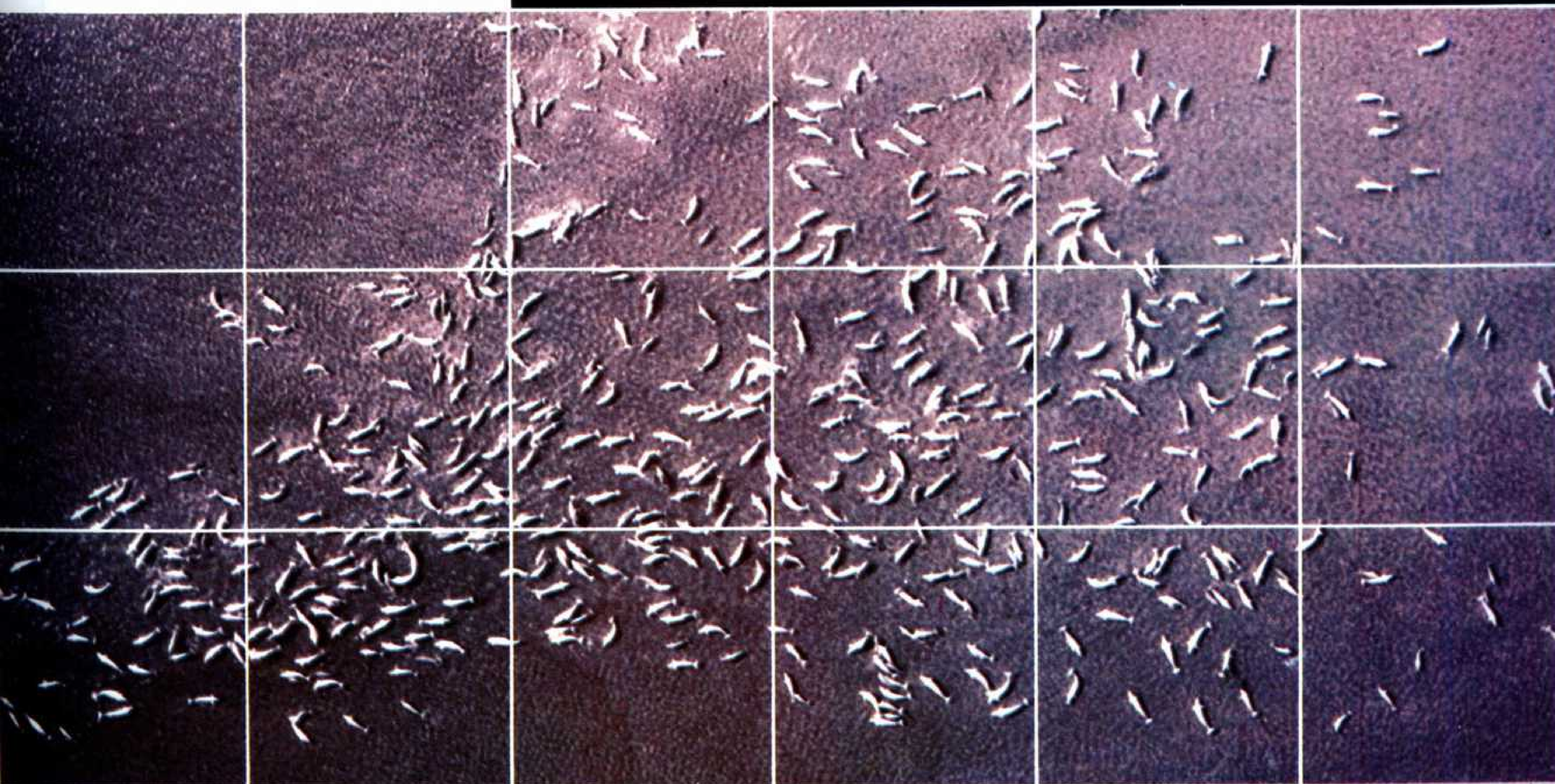






Los vertebrados marinos



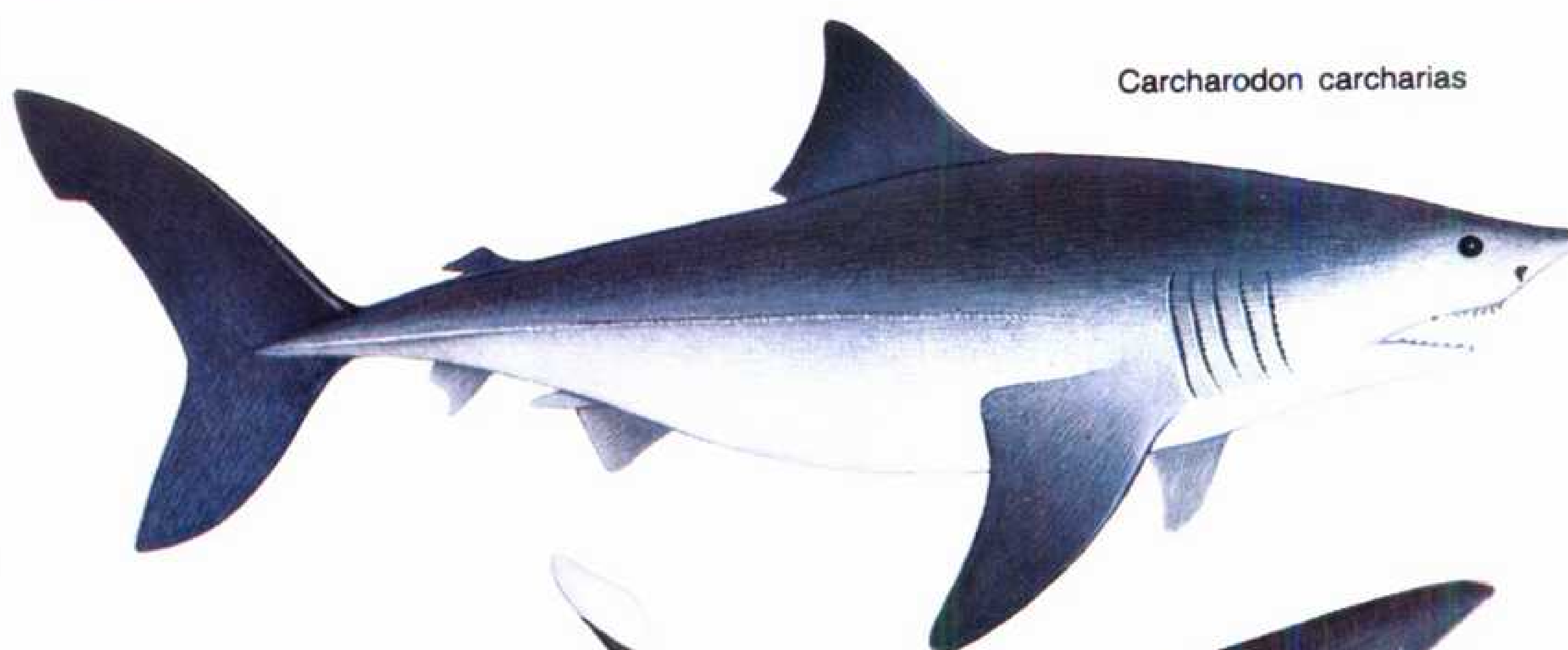
Los peces

Los peces son los más antiguos vertebrados vivos sobre la Tierra. Aparecieron hace cerca de 450 millones de años, hacia finales del Ordovícico, y se difundieron a continuación por casi todos los ambientes acuáticos. Algunas especies resisten temperaturas de más de 38 °C, otras viven sometidas a presiones terribles, a profundidades de hasta 10.000 metros; otras, finalmente, se han adaptado en las aguas heladas a temperaturas inferiores a los 0 °C.

De las 21.000 especies existentes, cerca del 60 por 100 son completamente marinas. El mayor número de especies de agua salada vive en las aguas cálidas costeras en una gran variedad de ambientes, con muchos de los peces exóticos más variopintos que pueblan los arrecifes coralinos. Las especies que viven en aguas frías, como la merluza y el arenque, proporcionan al hombre muchas de las proteínas que necesita.

Los peces se subdividen generalmente en tres grandes grupos según su grado de desarrollo. Las formas más primitivas son las lampreas (clase de los agnatos, que incluye solamente a los ciclóstomos), desprovistas de mandíbulas pero con bo-

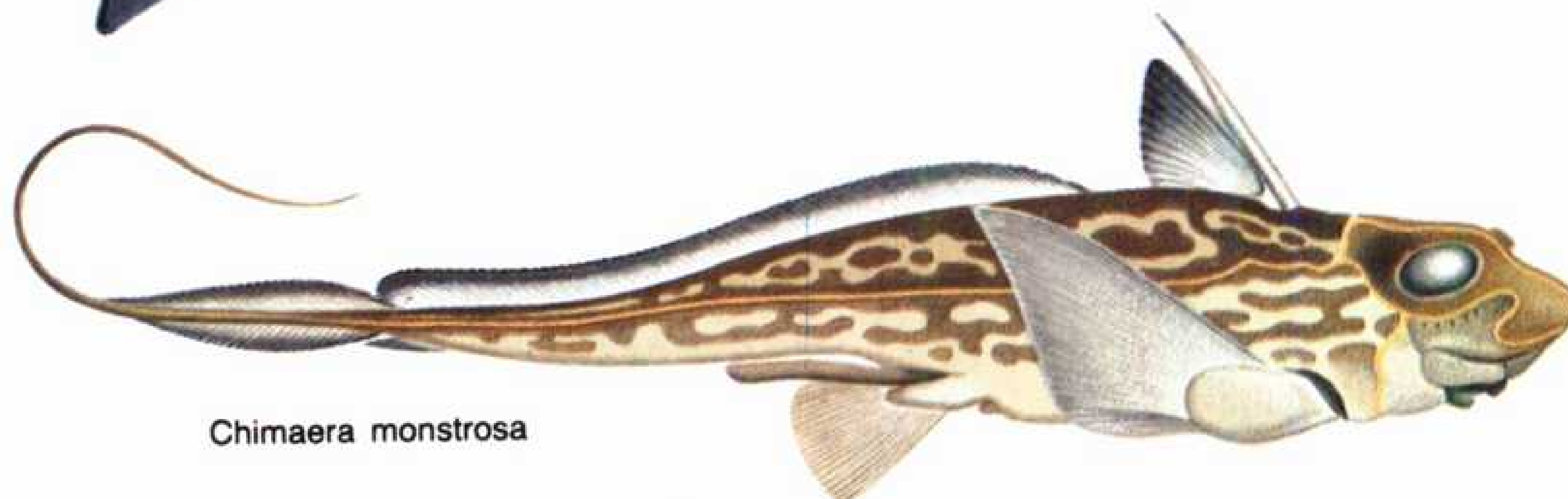
PECES CARTILAGINOSOS



Carcharodon carcharias



Manta birostris



Chimaera monstrosa

CICLOSTOMOS

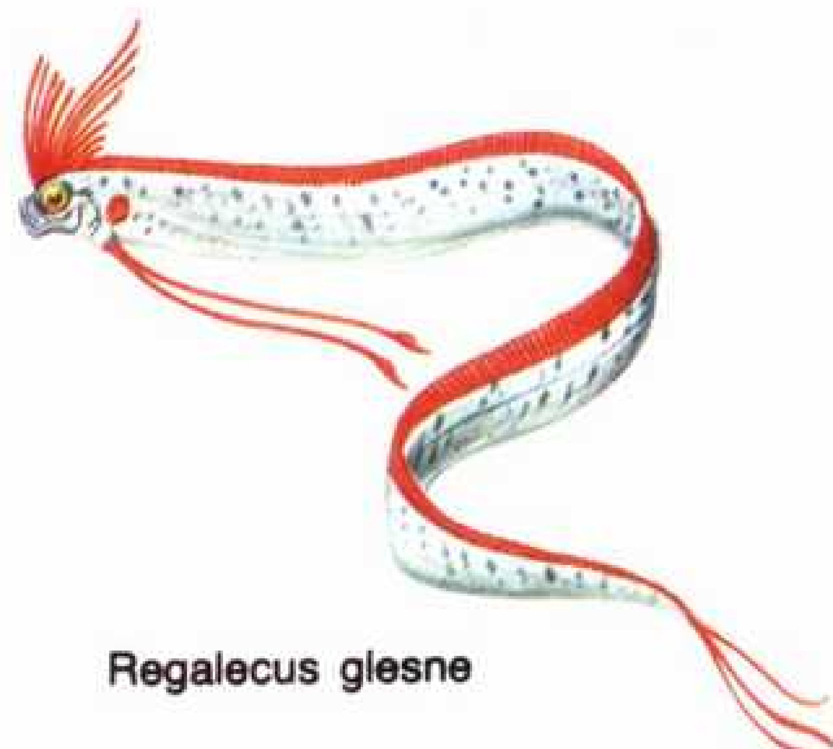


Petromyzon

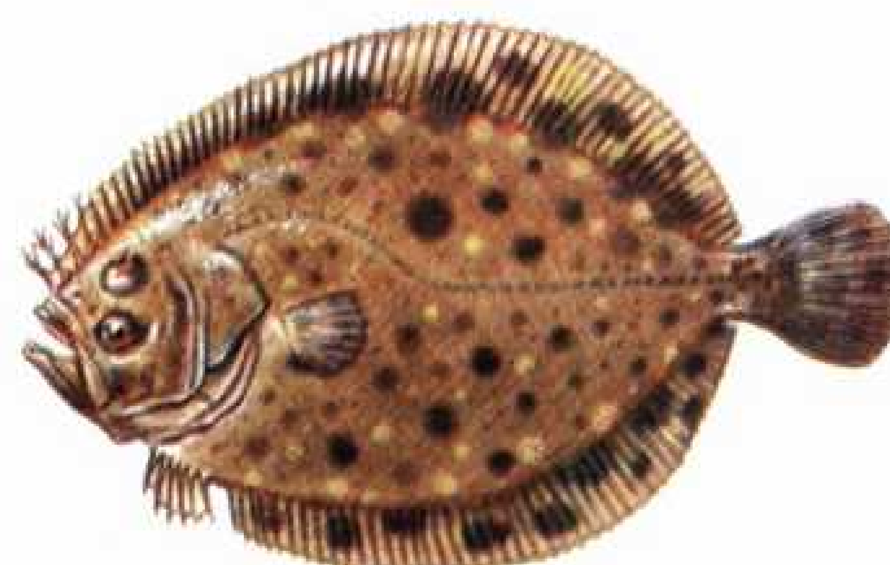
PECES OSEOS



Sparus auratus



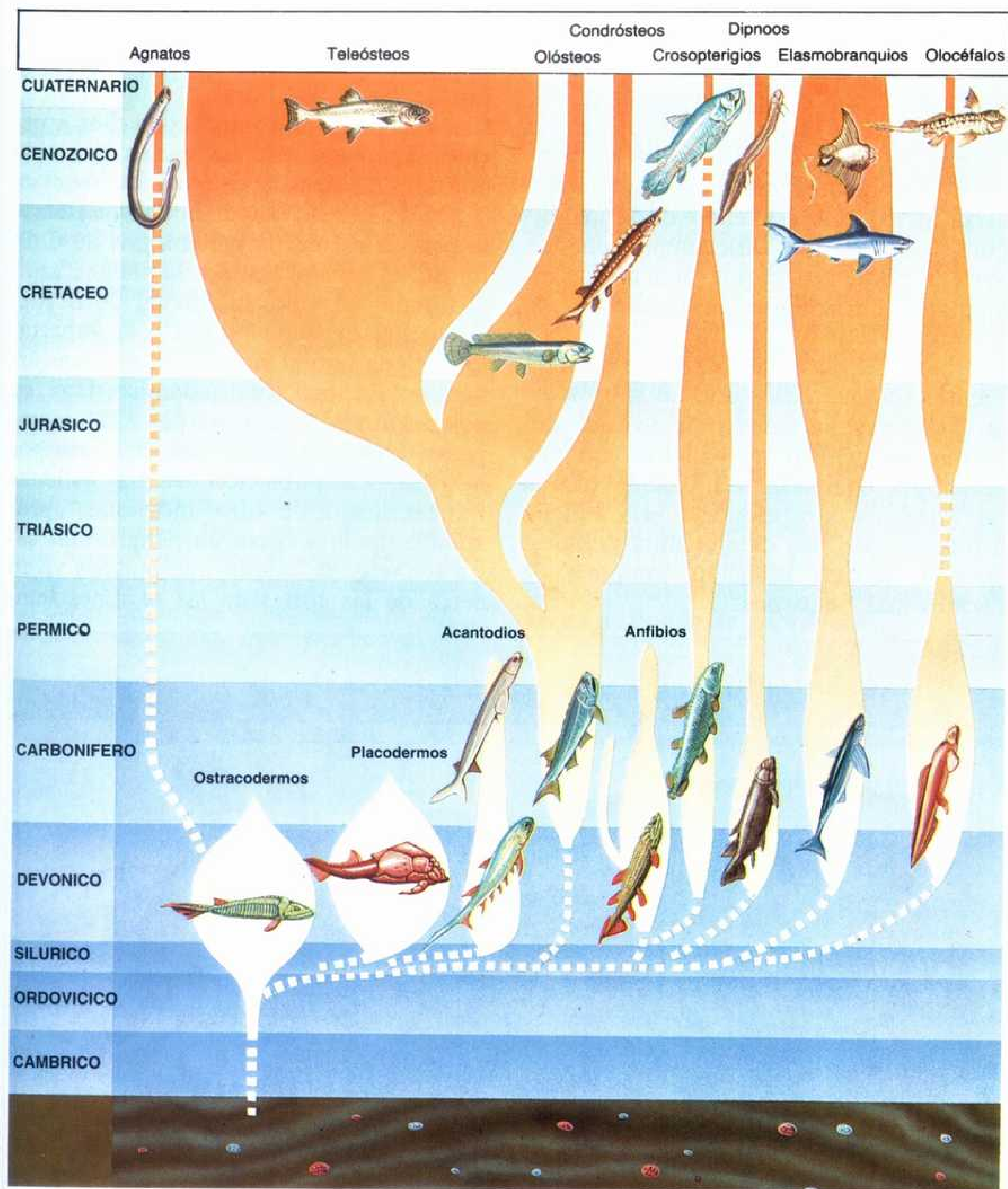
Regalecus glesne



Scophthalmus rhombus



Hippocampus guttulatus





Los habitantes de las aguas. *Bajo la denominación de peces se reúnen los ciclóstomos, los peces cartilaginosos o los peces óseos (en la página anterior). Los primeros tienen un cuerpo anguiliforme y carecen de mandíbulas. Los segundos, caracterizados precisamente por un esqueleto cartilaginoso, incluyen los tiburones, las rayas y las quimeras. Estas últimas (orden olocéfalos) se sitúan a veces en una categoría aparte, intermedia entre los peces cartilaginosos y los óseos. Los peces óseos predominan en las aguas de nuestro planeta tanto por el número de especies como por su entidad. En el esquema se representan algunas de las innumerables formas que se pueden encontrar. El inicio de la historia evolutiva de los peces (arriba) se remonta al Ordovícico: las primeras especies que aparecieron carecían de mandíbula; los peces con ella aparecieron en el Silúrico y evolucionaron. Aquí, arriba, un celacanto, pez que se creía desaparecido hace 60 millones de años y que se encontró vivo en 1938.*

ca chupadora; muchas de ellas son parásitas y se prenden a otros peces para extraer de ellos el alimento.

Los peces cartilaginosos (de la clase condroíctios) constituyen el segundo grupo e incluyen a los tiburones, las rayas y las quimeras. Dotados de mandíbulas con dientes óseos, carecen de esqueleto óseo. Sin embargo, el andamiaje de los cartílagos del endoesqueleto desempeña igualmente su función.

Los peces óseos propiamente dichos (de la clase osteíctios) forman la mayor parte de la fauna íctica. Todas las formas poseen cráneo óseo, y la mayoría cuenta con esqueletos óseos. Con la aparición en el mundo de estos vertebrados óseos en el Silúrico tardío (hace cerca de 400 millones de años), los animales fueron evolucionando, para mejor o para peor, y su estadio final de desarrollo desembocaría en los primates, entre los que se incluye al hombre. Los peces habían desarrollado ya los principios fundamentales de todos los sistemas de órganos típicos de los seres humanos: un esqueleto interno, una musculatura y, en especial, un cerebro y los diversos sentidos.

Aun cuando el número de especies de estas formas primitivas de vertebrados ha disminuido un tanto respecto de la fase de máximo desarrollo, siguen siendo, no obstante, el grupo mayor por lo que respecta al número de especies; constituyen el 42 por 100 del número total de los vertebrados conocidos por los científicos.

El estudio de la evolución lo llevan a cabo los paleontólogos, cuyo trabajo se basa en el estudio de las partes duras de los fósiles y en las improntas de los cuerpos, de las que tratan de obtener la representación del cuerpo entero, aunque sea incompleto. Así, cuando en 1938 se encontró vivo frente a la costa sudafricana un ejemplar de pez llamado celacanto, que se creía extinguido hace 60 millones de años, suscitó gran agitación en el ambiente científico, como acontecimiento de máximo interés. Ello proporcionaba también a los biólogos la posibilidad de comprobar la exactitud de las reconstrucciones hechas por los paleontólogos basándose en el material fósil. Una serie de acontecimientos desfavorables hizo que de este primer ejemplar sólo quedara la estructura de la piel cuando fue inicialmente observado por J. L. B. Smith, un ictiólogo sudafricano, quien se dedicó luego durante catorce años a buscar otro ejemplar; hasta hoy, los investigadores han examinado más de 80 ejemplares intactos. Estas especies revestían particular interés porque se relacionaban estrechamente con un grupo extinguido que apareció sobre la Tierra y que más adelante llevaría al desarrollo de anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Los cetáceos

El orden de los cetáceos comprende animales acuáticos llamados ballenas, delfines y marsopas, subdivididos en conjunto en tres grupos: los antiguos cetáceos extinguidos, dotados de dientes (arqueocetos), los modernos cetáceos con dientes (odontocetos) y los carentes de dientes (mistacocetos). Los casi 60 géneros de odontocetos comprenden los delfines de río, las ballenas de pico, los cachalotes, los delfinaptéridos, los delfines y las marsopas. Se conocen cetáceos fósiles que se remontan al Eoceno.

Las ballenas de pico (zífidos) son rigurosamente pelágicas y viven sólo en los mares profundos. Las dos especies más conocidas son el hiperodonte, objeto de caza en el Atlántico, y el *Berardius bairdi,* encontrado en el Pacífico. Una, por lo menos, alcanza los 13 metros de longitud y pesa 30 toneladas.

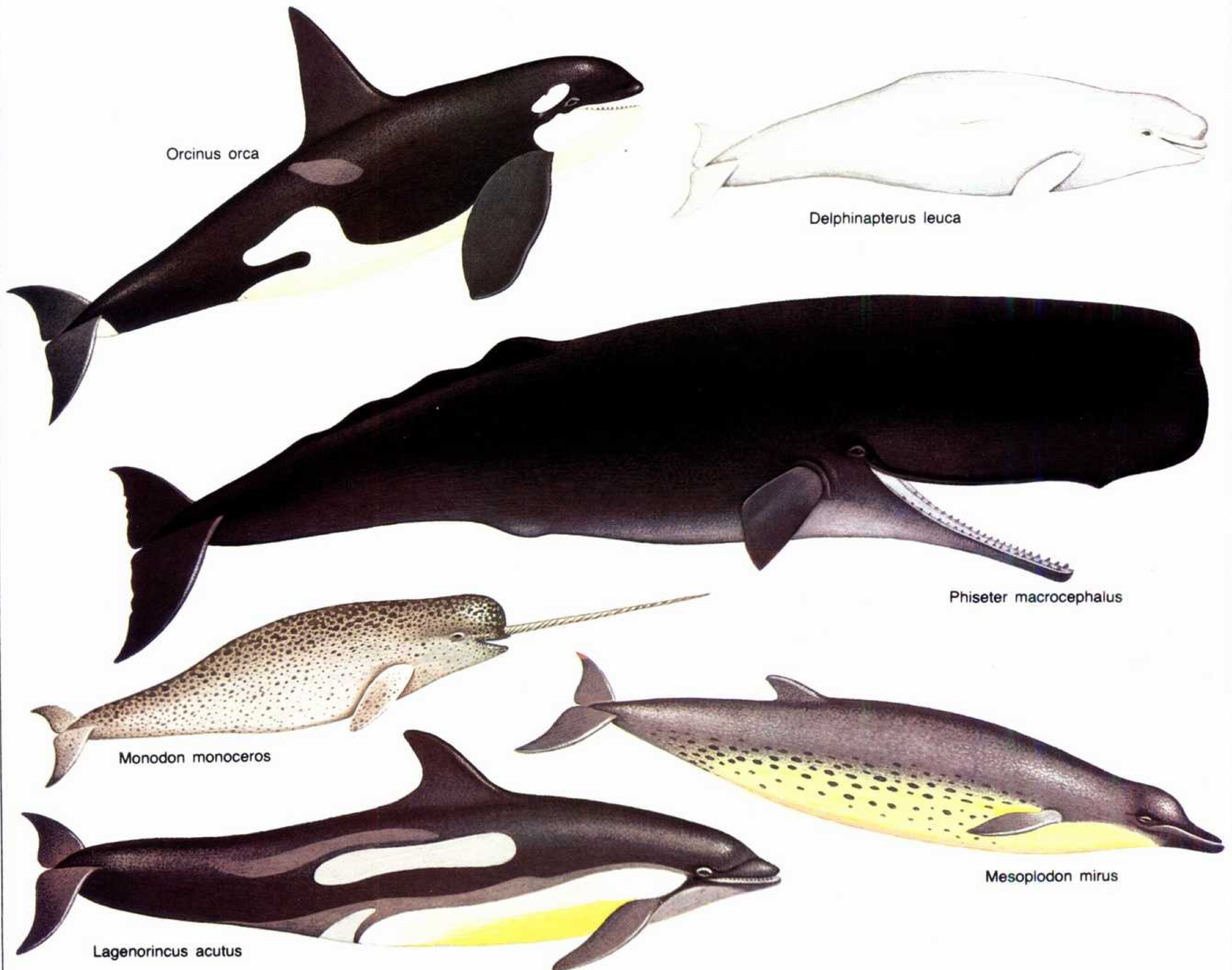
La mayoría de los zífidos machos y adultos presentan sólo dos dientes en la mandíbula: la carencia de dientes debe estar relacionada con el tipo de alimentación, a base exclusivamente de sepias. En la ballena de Layard, del hemisferio Sur, estos dos dientes crecen extrañamente hacia arriba, sobresaliendo de la mandíbula, con lo que difícilmente pueden abrir la boca, por lo que tienen que alimentarse únicamente de tentáculos de calamares.

Las ballenas de pico poseen en general dientes rudimentarios que no sobresalen de las encías; se piensa por eso que debieron evolucionar de ballenas con una dentadura completa. La ballena picuda de Tasmania corresponde a esta antigua categoría, con dos dientes muy grandes, además de una dotación completa de dientes más pequeños.

Las ballenas de pico han adquirido fama de poder sumergirse más tiempo que cualquier otro tipo de ballena, por períodos de hasta dos horas.

Los mistacocetos comprenden diez especies, la mayoría de las cuales han sido objeto de caza hasta casi extinguirse. Y son: la ballena boreal, la ballena franca, la ballena enana, la ballena gris de California, el rorcual común, la ballena azul, el rorcual norteño, el rorcual de Bryde, el rorcual de aleta blanca y la yubarta. La ballena boreal vive en las regiones árticas del Pacífico y del Atlántico. Hoy, su población gira en torno a los 2.000 ejemplares y está en peligro de extinción por la caza. La población de las ballenas francas consta de 4.000 individuos aproximadamente y corre un peligro más serio todavía, en cuanto que muchas viven cerca de las costas en las regiones tem-

CETACEOS ODONTOCETOS



Los grandes mamíferos marinos. *Los cetáceos son mamíferos tan adaptados a la vida acuática, que han asumido el aspecto de los más acuáticos de los vertebrados, que son los peces; este parecido, sin embargo, se refiere solamente a la forma externa del cuerpo. En los cetáceos, la nariz se ha desplazado a la parte superior de la cabeza, y forman uno o dos orificios que sirven fundamentalmente para la respiración. De ellos salen chorros de vapor de agua, que en los climas fríos se condensan y parece que el animal lanzara un chorro de agua. Los cetáceos existentes en la actualidad se dividen en mistacocetos y odontocetos. Los primeros (abajo) carecen de dientes, pero cuentan con barbas y un doble orificio. Los segundos (en la página anterior) tienen dientes y un único respiradero. En los mistacocetos falta toda forma de masticación: filtra los animales planctónicos de que se alimentan a través de las barbas, láminas córneas que cuelgan del paladar y retienen las presas.*

pladas del globo, lo que las hace aún más vulnerables a las actividades industriales humanas. La población del Atlántico noroccidental consta con toda probabilidad de un centenar solamente de individuos, mientras en los últimos veinte años la especie ha sido vista sólo cuatro veces en el Atlántico nororiental. La ballena azul, la especie más grande que existe, con sus 30 metros de longitud y un peso de 110 toneladas, no se encuentra en situación tan precaria, afortunadamente: existen, en efecto, cerca de 10.000 ejemplares en todos los mares. Hace varias centurias, la ballena gris de California vivía en el Atlántico septentrional, pero hoy ha desaparecido de ese océano. En el Pacífico occidental, su población asciende a cerca de 15.000 individuos; frente a California emigra hacia el sur, hacia las lagunas de México, donde se reproduce.

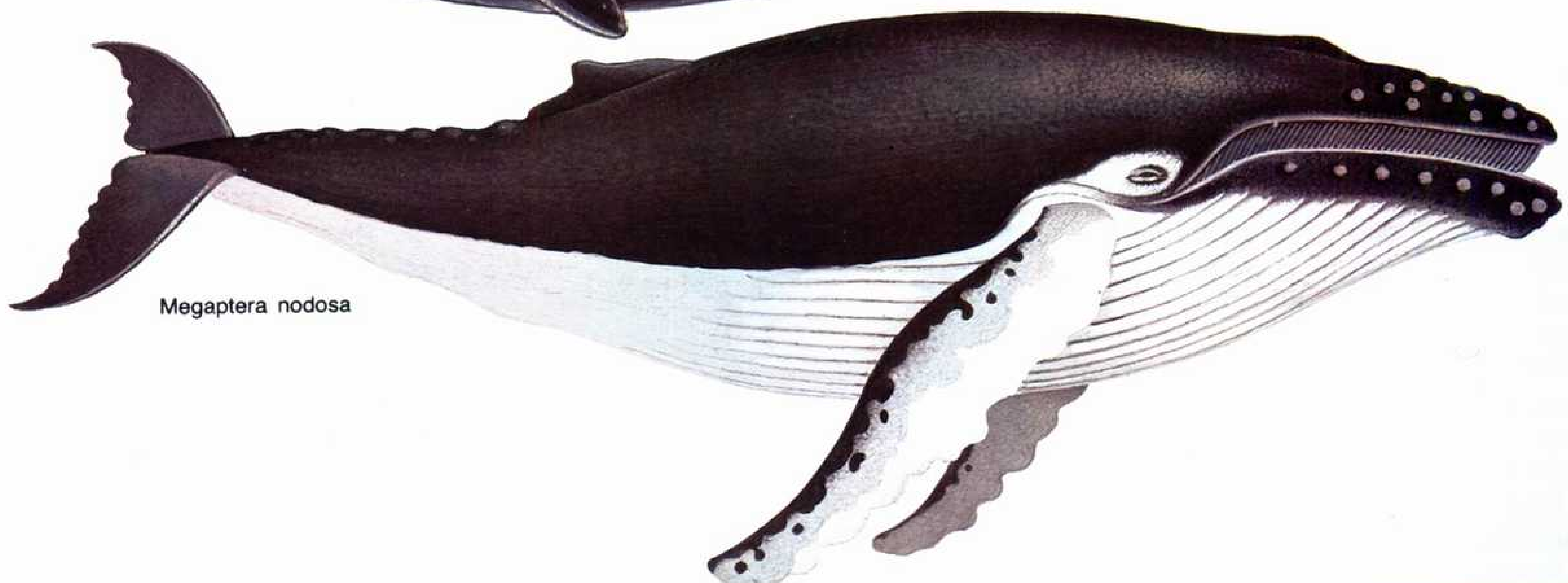
La segunda ballena en orden de magnitud decreciente es el rorcual común, que hoy está legalmente protegida; existen varios miles de individuos en todo el mundo, así como de su afín, el rorcual boreal. El rorcual de rostro, la menor de todas las ballenas, es cazada todavía hoy. Poco se sabe, en cambio, de la ballena franca pigmea. Existen cerca de 6.000 ejemplares de yubarta, con la más numerosa población (2.000 ejemplares) en el Atlántico noroccidental.

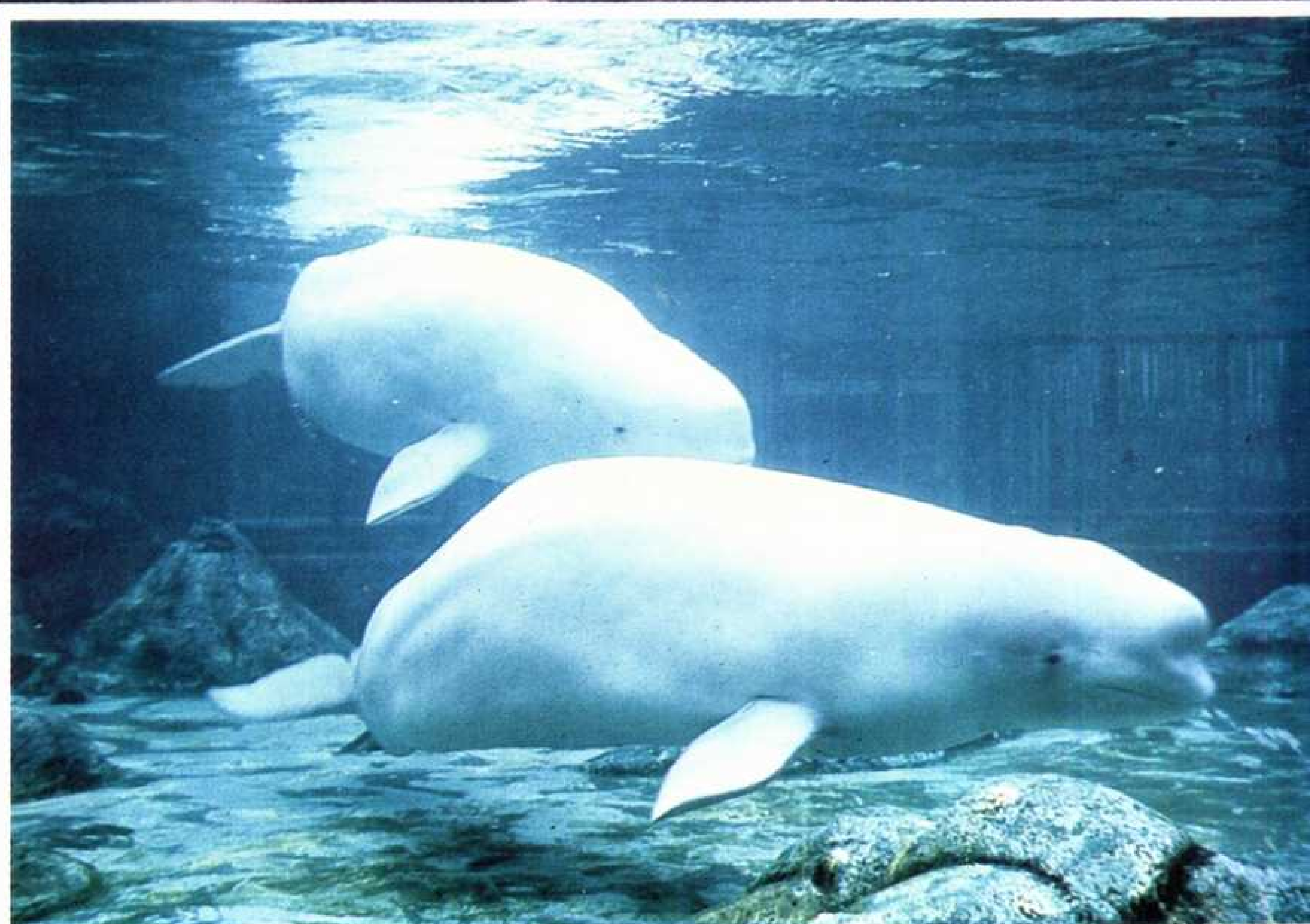
Los desplazamientos de las ballenas pequeñas y grandes abarcan desde muchos cientos de millas hasta migraciones a espectaculares distancias. Algunos delfines se desplazan hacia el norte y hacia el sur a lo largo de las costas, mientras otros, en invierno, se alejan de tierra firme. La ballena gris de California recorre hasta 16.000 kilómetros en el Pacífico, para di-

CETACEOS MISTICETOS


Balaena mysticetus


Rhachianectes glaucus


Megaptera nodosa



rigirse desde las aguas frías del Artico hasta las cálidas lagunas de la costa mexicana. Recientemente se instaló en México un radioemisor a un ejemplar de esta especie, al que se le pudo seguir así durante más de 90 días sobre una distancia de 4.600 kilómetros. Las yubartas emigran muchos miles de kilómetros desde el norte, donde se alimentan, hacia aguas tropicales, donde se reproducen en el más riguroso ayuno. La disposición de ambos colores, blanco y negro en la parte inferior de las aletas, ha hecho posible que los investigadores identifiquen y den un nombre a cada yubarta. El uso de radioemisores y la identificación de particu-



Las belugas. *Los cetáceos viven en grupo y emigran periódicamente. Las belugas, por ejemplo, habitan en los mares árticos, pero en la estación invernal, para huir de los fríos intensos de las zonas polares, se desplazan a los mares de las regiones templadas. Actualmente es difícil localizar a un grupo de belugas, que escasean cada vez más por la intensa caza.*

En la fotografía grande, una excepcional concentración de belugas, en una foto aérea desde unos 300 metros de altura tomada con una película Water Penetration. *A estos cetáceos de considerables dimensiones, pues llegan a medir 5,5 metros de longitud, se les llama también delfines blancos por el candor de su piel, visible claramente en la fotografía de la izquierda.*

lares disposiciones de color en cada individuo prometen revelar buen número de informaciones sobre estos animales.

La emisión de sonidos es muy importante para la vida y el comportamiento de los cetáceos: les permite mantenerse unidos, identificarse mutuamente y encontrar comida aprovechando el eco del sonido emitido, al determinar la distancia y dirección de la fuente alimentaria.

La dieta de las ballenas es variada e incluye peces, calamares, krill y animales del fondo. Los grandes mistacocetos filtran los pequeños organismos a través de las numerosísimas láminas córneas que cuelgan de la mandíbula.

En muchos aspectos, la reproducción es semejante en ballenas y delfines. La gestación dura, generalmente, de once a doce meses para la mayoría de los grandes mistacocetos y los delfines, mientras este período es de quince meses en el cachalote. En invierno, los grandes mistacocetos emigran para reproducirse hacia aguas más cálidas, en zonas templadas o tropicales.

La caza de las ballenas está hoy rigurosamente restringida y existe incluso cierta esperanza de lograr llevar a muchas especies al nivel de población original, si se logra mantener bajo control también a quienes contaminan los mares.

Pinnípedos, sirénidos y nutrias

EXISTEN cerca de 32 especies de pinnípedos, un suborden de los carnívoros que incluye los osos marinos, las focas de pelaje, los leones marinos, las focas comunes, las otarias, las focas fraile y los elefantes marinos. Poco se conoce de su historia evolutiva, pero se sabe que se desarrollaron de antepasados semejantes a osos o de antepasados semiacuáticos similares a nutrias.

Los pinnípedos se encuentran en general en las aguas más frías del globo. Algunos viven en los hielos perennes del Artico y del Antártico. En el Antártico se conocen cuatro especies —la foca leopardo, la foca de Wedell, la foca de Ross y la foca carcinófaga—, que viven a temperaturas inferiores a los 4 °C. Otras especies prefieren aguas menos frías o templadas. Son excepción las focas frailes, que viven en aguas tropicales. Las focas fraile del Mediterráneo y de las Hawai están seriamente amenazadas de extinción.

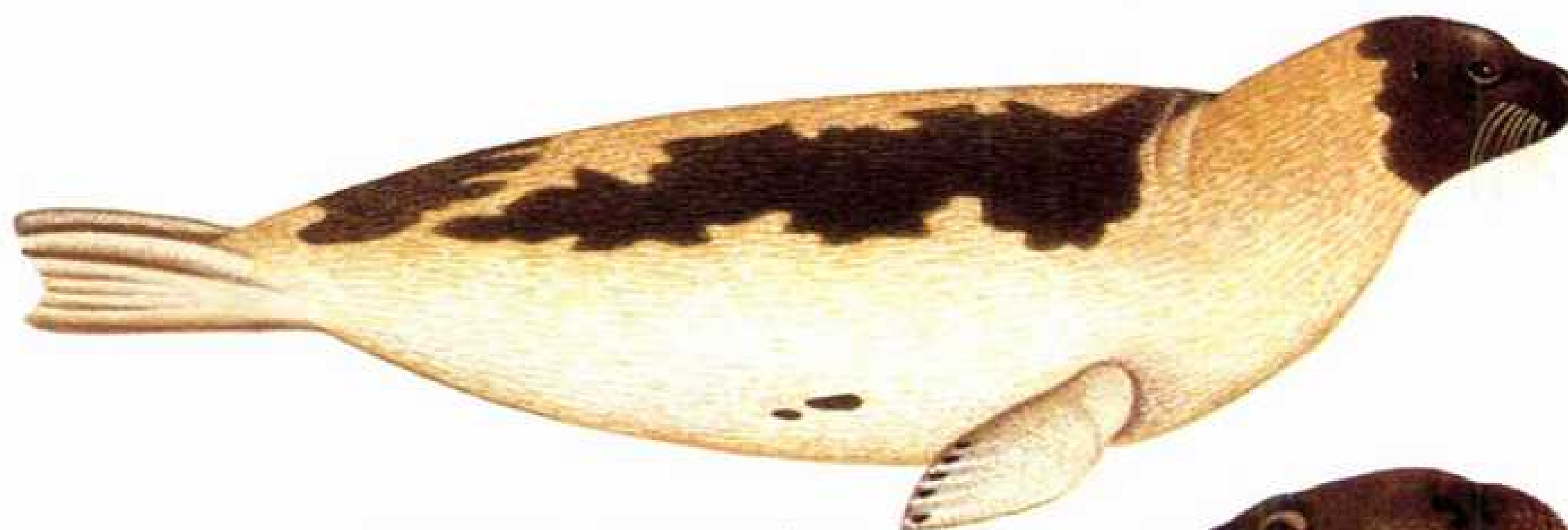
La dieta de la mayor parte de los pinnípedos consta de una amplia variedad de peces y, en ciertos casos, también de calamares. La foca de Ross y el león marino de California se nutren en primer lugar de sepias y de calamares. El león marino de Hooker se alimenta de un cangrejo rojo...



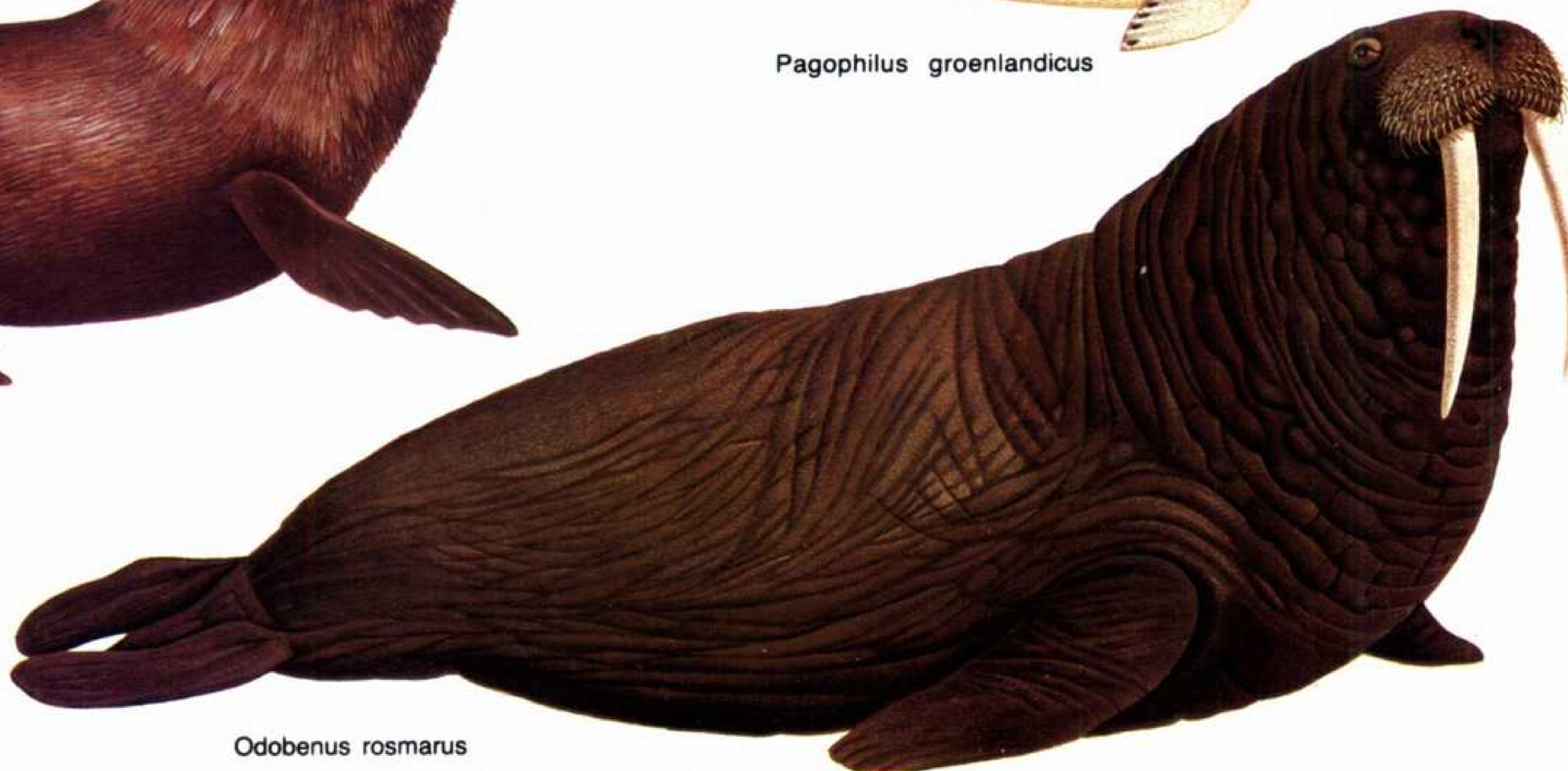
PINNIPEDOS



Zalophus californianus



Pagophilus groenlandicus



Odobenus rosmarus

El león marino, con sus dos colmillos desarrollados a partir de los caninos, captura en el fondo del mar bivalvos vivos, estrellas de mar y hasta focas y narvales. La foca barbuda se nutre en primer lugar de gasterópodos marinos. La foca carcinófaga del Antártico tiene dientes que le permiten filtrar pequeños animalitos que constituyen el krill. La población de pinnípedos comprende entre dos y cinco millones de individuos. Podría incluso haber aumentado desde que las ballenas, que aprovechan el mismo alimento, se han reducido en el Antártico a un número muy bajo. La foca leopardo asedia a los pingüinos, aunque se nutre también de peces, de calamares y de las crías de otras focas.

Las llamadas focas peleteras, los leones marinos, los elefantes marinos, la foca de Weddell y algunas poblaciones de focas grises forman auténticos harenes en tierra firme, cuando llega la época de la reproducción. Los machos de elefante marino pueden alcanzar las 3,6 toneladas de peso. La foca común de Groenlandia, la del Antártico, la fraile y la de capuchón son en general monógamas y se acoplan en el agua. Los cistoforinos forman grupos familiares con un macho, la hembra y su cría, que permanecen en tierra firme. Los machos de esta especie tienen una sorprendente característica: encima de la cabeza presentan como una cresta que sirve probablemente como señal sexual. Las hembras de la foca barbuda paren en las olas heladas. Los machos de la foca de Weddell, en el Antártico, tienen sus territorios bajo la capa de hielo y pueden emerger del agua a través de un agujero que les sirve para respirar. Las hembras y las crías que pertenecen a sus territorios permanecen en el hielo de encima. Bajo el agua, el macho emite un canto que tiene la función de advertencia territorial. Para parir, las hembras de los pinnípedos tienen que dirigirse a los bancos de hielo o a tierra firme. Las madres y las crías emiten reclamos de identificación, y el reconocimiento último por parte de la madre se produce a través del olfato.

Las orcas, los tiburones y el hombre son los peores enemigos de los pinnípedos. En efecto, las focas son cazadas todavía en gran número por el hombre, que utiliza de diversas maneras su carne, su grasa y su piel. Las crías de la foca de Groenlandia se cazan por su blanquísima pelliza.

Los manatíes y dugongos son miembros de un orden distinto, los sirenios. Viven enteramente en el agua y se alimentan exclusivamente de la vegetación acuática. Hoy sólo se encuentran en las regiones tropicales. Forman un grupo separado de los demás mamíferos marinos, en cuanto que son animales pesados, de aspecto torpe, carentes de las patas posteriores y que se sirven de la cola aplastada para la locomoción.

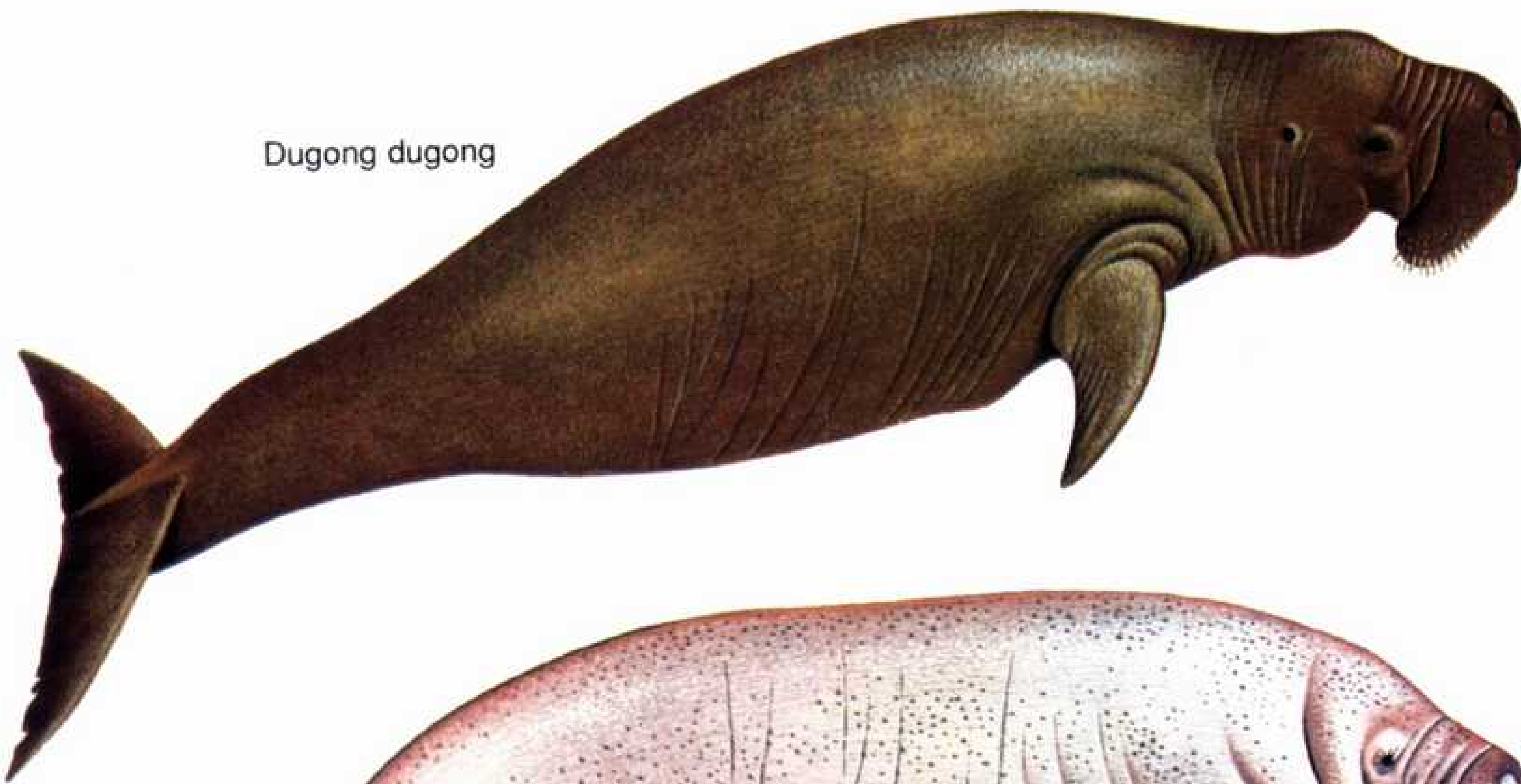
Una especie de nutria lleva hoy una existencia rigurosamente marina. En las aguas de California su población se ha visto aumentada recientemente. Este animal pesca, a lo largo de las costas rocosas, diversos tipos de crustáceos, pero su bocado favorito siguen siendo los erizos de mar y los grandes gasterópodos. Tiene además una interesante costumbre, que consiste en tenderse boca arriba en la superficie, mientras con una piedra que aferra con una pata, golpea, para abrirlas, las envolturas resistentes y las conchas que apoya contra el cuerpo. Esta actividad, fundamentada en emplear un instrumento para conseguir comida, la presentan muy pocas especies. Pare en tierra firme una sola cría, que lleva bastante pronto al mar.

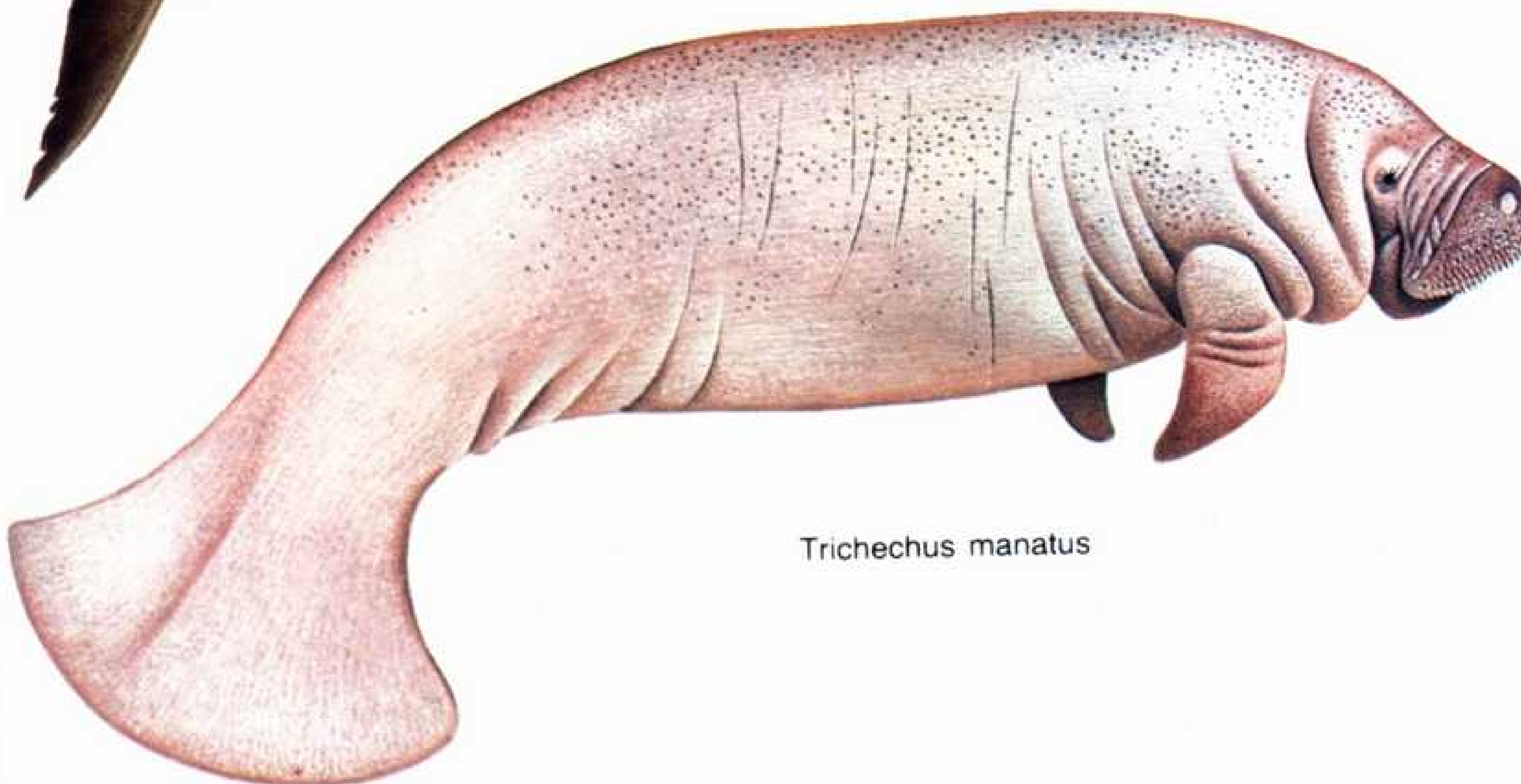
__Los mamíferos marinos de las costas.__ La nutria de mar (a la derecha) es, entre los mamíferos marinos, el único que ha conservado auténticas patas y el que menos se aleja de la orilla. Más adaptados a la vida marina están los sirenios (abajo), que viven cerca de la desembocadura de los ríos y a lo largo de las costas. Se alimentan de plantas. Los pinnípedos (en la página anterior, abajo) viven en sociedad a lo largo de las costas: a la izquierda, colonia de leones marinos.

NUTRIAS MARINAS



SIRENIOS





Las aves marinas

LAS aves marinas se pueden reunir en grandes bandadas cuando emigran o se concentran en las áreas de reproducción, cerca del Antártico y en las islas costeras u oceánicas.

La estrategia de la reproducción en las aves marinas difiere en muchos aspectos de la de las continentales. Las especies pelágicas tienden a ser longevas, coloniales y a tener un bajo potencial reproductivo; pueden poner un solo huevo al año, lo incuban durante varias semanas y, únicamente tras muchos meses de cuidado, los jóvenes empiezan a volar. Las áreas de reproducción se encuentran en islas remotas, donde huevos y pollos están libres de los mamíferos marinos depredadores.

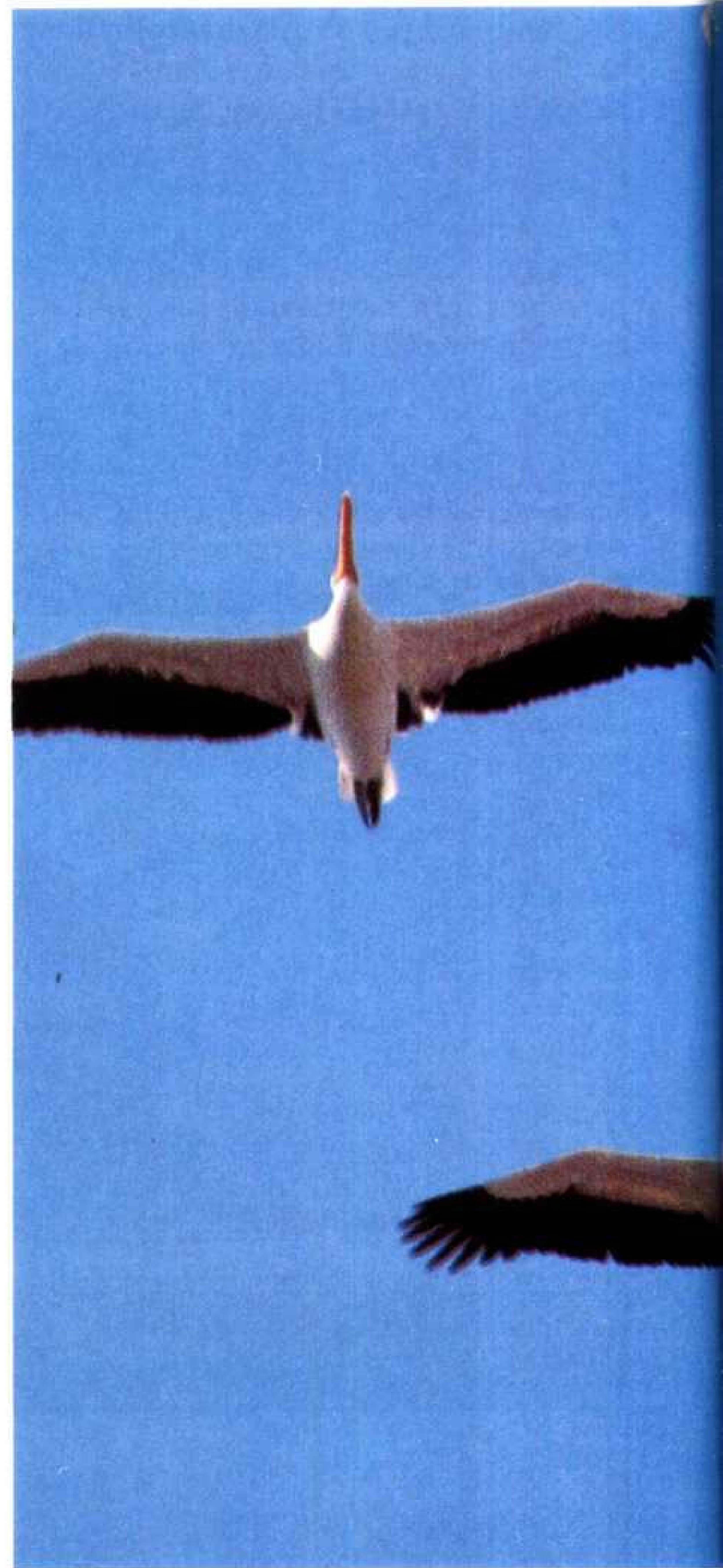
El futuro de las aves marinas presenta graves problemas. La concentración en pequeñas áreas de reproducción puede ser peligrosa para una especie: la población mundial de una determinada especie de albatros nidifica sólo en una de las islas Galápagos. La concentración en las áreas de nidificación y de alimentación hace a tales áreas susceptibles, por ejemplo, de contaminación por derrame de petróleo. Persistentes pesticidas contaminan los mares, entran en las cadenas alimentarias de los organismos acuáticos y se concentran en cantidades tóxicas en los carnívoros situados en el vértice. Las islas en que nidifican, muy expuestas, alteran fácilmente su equilibrio por la presencia del hombre y la introducción de animales no indígenas.

La población humana, en continuo aumento, aprovecha cada vez más los alimentos procedentes del mar, disputándoselos a veces directamente a los animales. Por ejemplo, ciertas aves que viven a lo largo de las costas de California fueron diezmadas cuando la industria de la sardina agotó sus reservas.

Durante años, la recogida con fines industriales de fertilizantes ha aprovechado los depósitos de guano ricos en nitratos de la costa occidental de América y del Africa meridional. Hoy, estas costas son valoradas en beneficio tanto de las aves como de la industria. Por desgracia, las redes usadas para capturar los peces hacen que se ahoguen miles de aves que se zambullen, y esto sucede cada año en el Pacífico septentrional. Sin embargo, parece que están aumentando las poblaciones de gaviotas y de correlimos, dado que los recursos alimentarios en los desagües junto a la costa y entre los desechos de la pesca contribuyen a hacerles superar los períodos de carencia.

A partir del Jurásico, es decir, desde hace 150 millones de años, los descendientes emplumados del *Archaeopteryx* han proliferado, evolucionando en cerca de 8.700 especies.

La utilización del mar por parte de las aves varía mucho. Las especies pelágicas pasan en él prácticamente toda su vida, sobre y bajo la superficie del agua, y sólo regresan a tierra cuando la reproducción lo exige. Otras, como los colimbos, los pájaros bobos y algunos ánades que se nutren de peces pasan el invierno en el mar y emigran a tierra firme en verano para reproducirse en las aguas dulces. Las aves que viven a lo largo de las costas, las zancudas y los patos buceadores frecuentan las ricas bahías costeras y los





Golondrina de mar



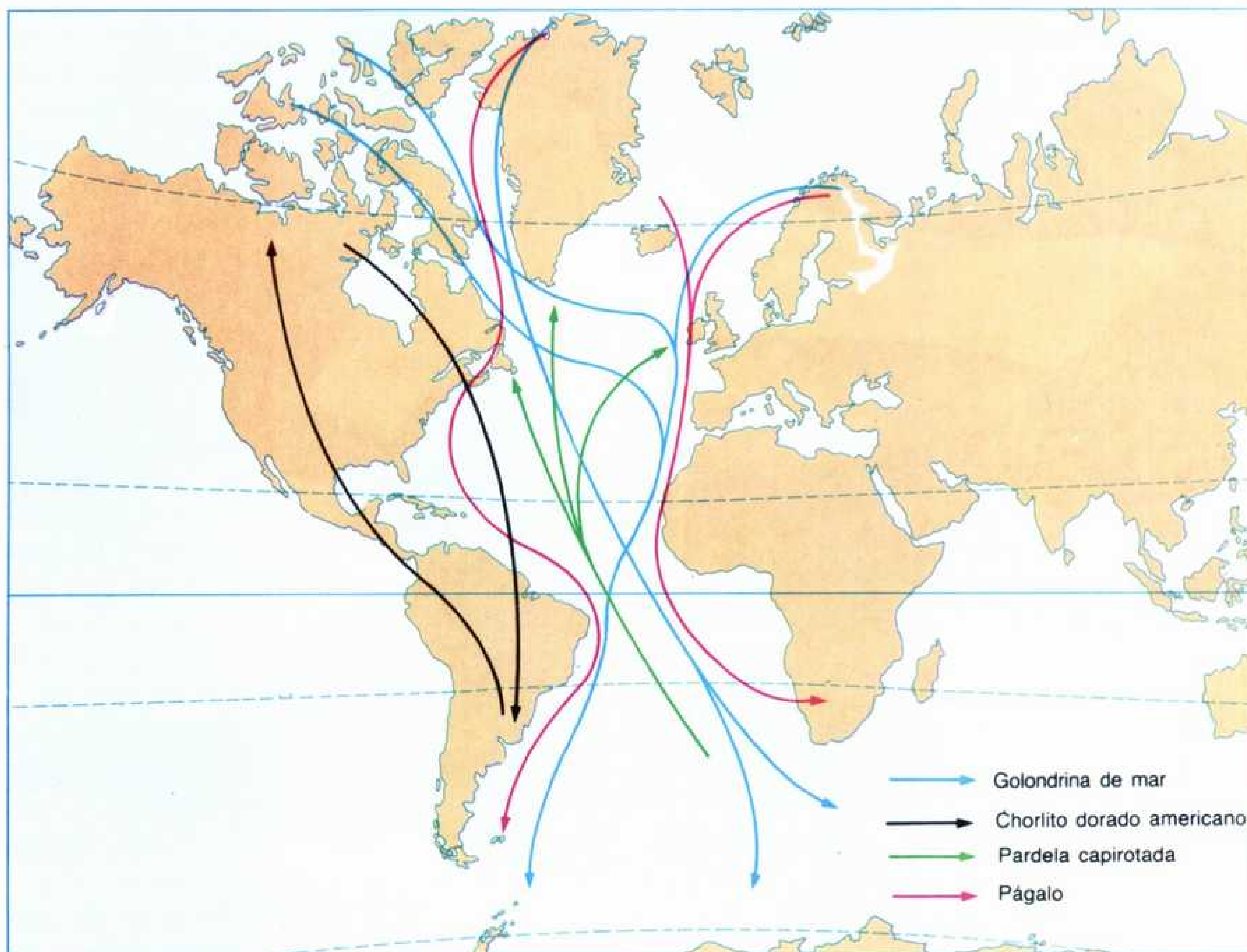
Chorlito dorado americano



Pardela capirotada



Págalo



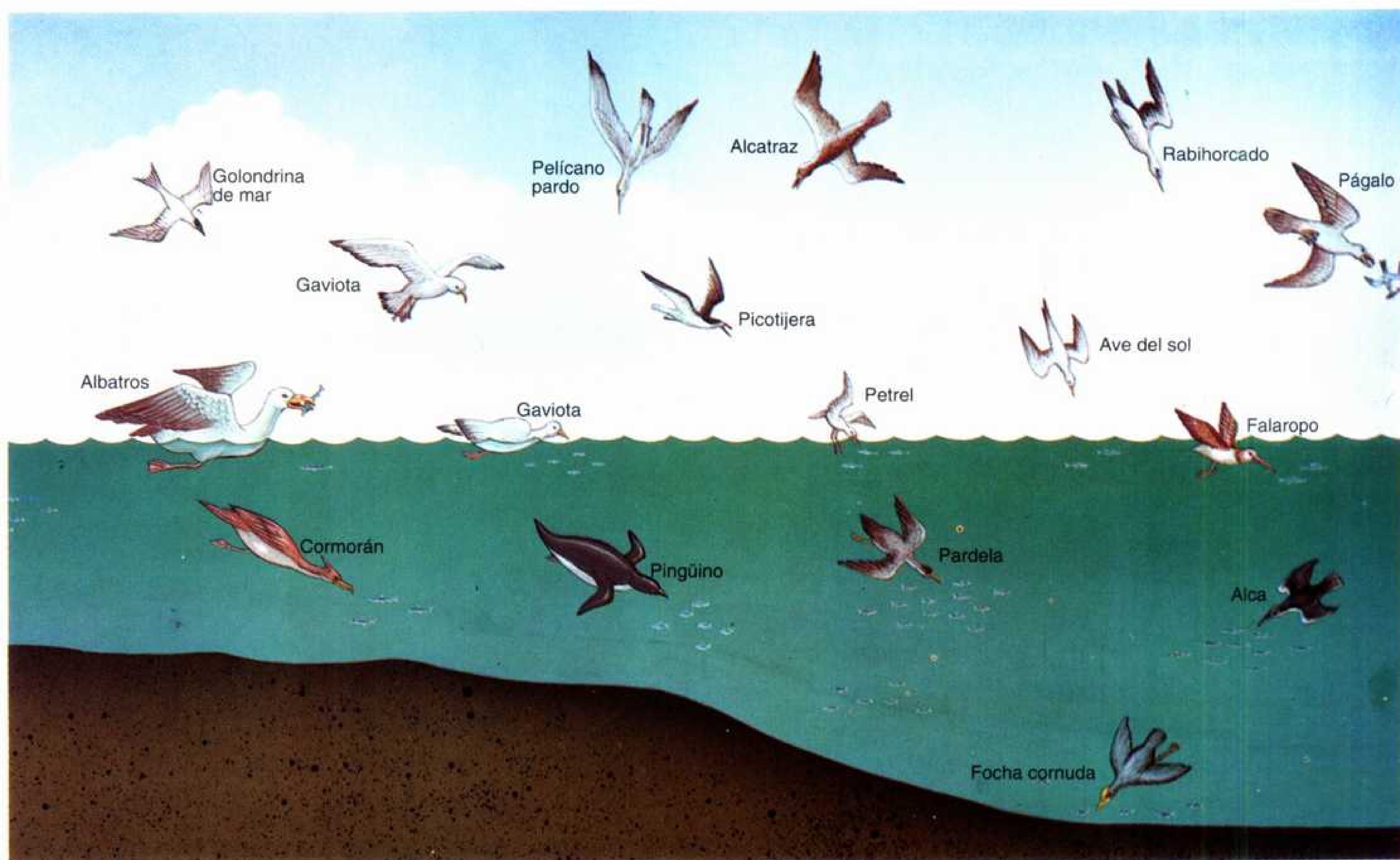
El mapa de las migraciones. *Algunas especies de aves llevan a cabo grandes vuelos transoceánicos, desplazándose desde el hemisferio septentrional hasta el meridional. Por ahora sigue siendo imposible explicar totalmente las migraciones: no se sabe, por ejemplo, cómo se orientan las aves y qué estímulo provoca la migración misma. Parece que está vinculado a factores hormonales que se modifican en ciertas estaciones. En el mapa se indica el recorrido que hacen la golondrina de mar, el chorlito dorado americano, la pardela capirotada y el págalo. Arriba, una bandada de pelícanos en vuelo.*



estuarios durante sus migraciones de uno a otro punto del continente. Las gaviotas, los charranes y los pelícanos permanecen en las plataformas continentales, en aguas someras, a menudo a la vista de tierra firme.

Las aves tienen diversos estilos para alimentarse en el mar. Las gaviotas, los falaropos, las pardelas, los petreles y la mayoría de los pelícanos son malos buceadores, por lo que se mantienen en la superficie para cazar presas vivas o para alimentarse de animales muertos. El martín pescador, el águila pescadora, los pelícanos pardos, los alcatraces, los charranes y las aves tropicales en general son potentes voladores que se arrojan al agua y se zambullen en ella para capturar los peces. Las fragatas, los petreles, las alcas y los pingüinos persiguen a los peces, los calamares y los animales planctónicos batiendo las alas bajo el agua. Los cormoranes, los álcidos, los colimbos y los patos buceadores nadan y se sumergen merced a potentes golpes de las patas, lobuladas o palmeadas. Los rabihorcados, los págalos y algunos albatros persiguen a otras aves hasta conseguir robarles su presa o incluso hacer que vomiten su alimento.

Al adueñarse de los mares, las aves han tenido que evolucionar para ser excelentes voladoras y planeadoras. Fragatas y albatros tienen la relación más alta entre superficie de las alas y peso corporal. Además, muchas especies se han adaptado a beber el agua del mar, eliminando el exceso de sales a través de glándulas nasales. La capacidad de orientación de estas aves es sorprendente.



Técnicas de caza de las aves marinas. *Las aves marinas se sirven de técnicas diversas para procurarse el alimento (dibujo de la derecha). Algunas especies han aprendido a nadar bajo las olas para perseguir a los peces: entre ellas, fochas, pardelas, cormoranes, pingüinos, negrones y alcas. Otras, como gaviotas o paíños, se han especializado en aferrar a los peces en vuelo rasante. Hay aves también (como, por ejemplo, el págalo o skúa) que arrancan la presa del pico de otra ave. En general, las aves aprovechan las corrientes de aire ascendentes y descendentes que se crean a lo largo de los acantilados.*

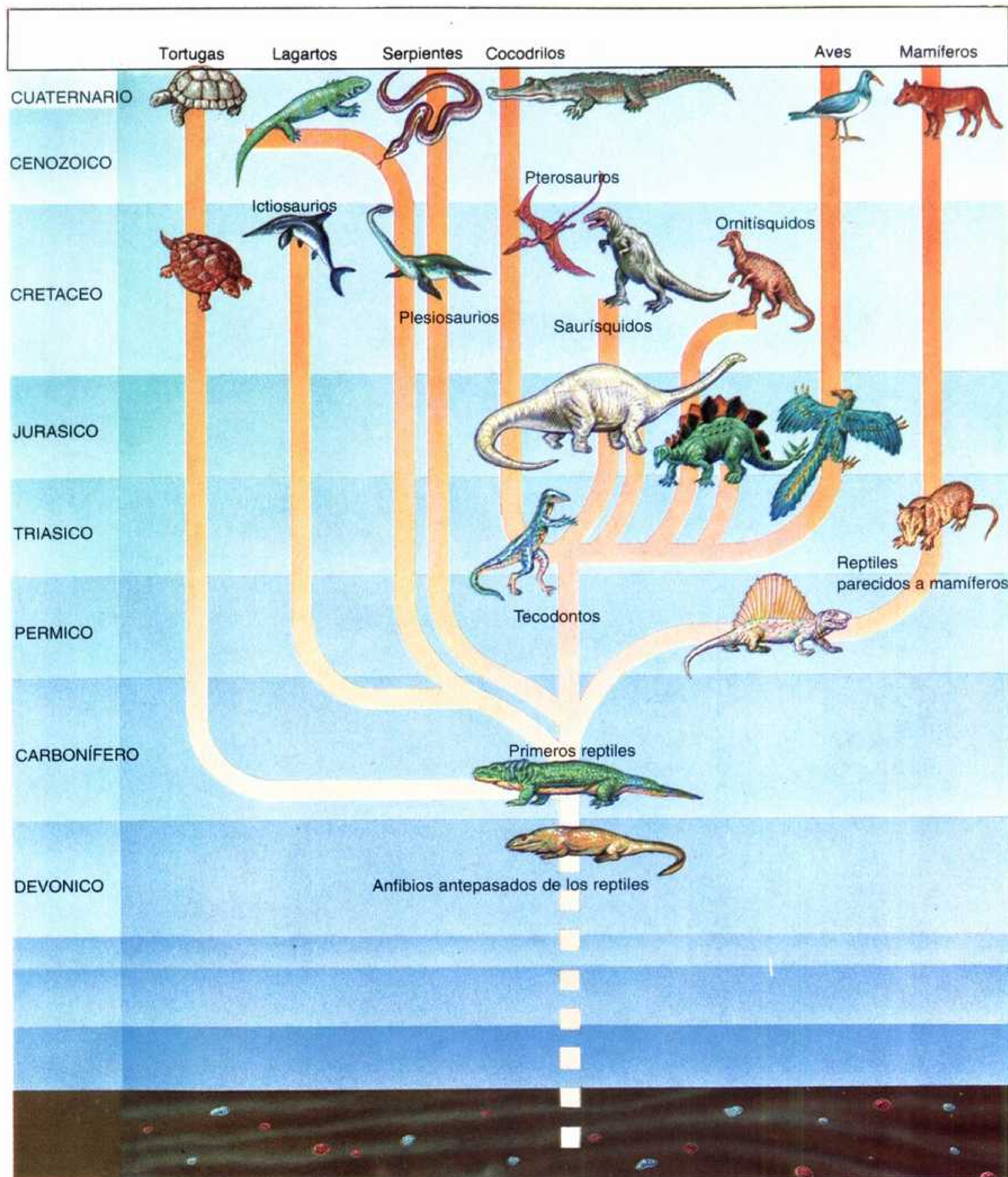
Las tortugas

EXISTEN sólo siete especies de tortugas marinas, divididas en cinco géneros. Dado que están difundidas un poco por todas partes y que han permanecido esencialmente idénticas desde hace más de 90 millones de años, al principio de su evolución debieron de haber desarrollado un sistema de vida muy apropiada para ellas, por lo que no tuvieron ningún motivo particular para cambiar.

Las especies más abundantes son la tortuga franca o verde, la tortuga laúd, la tortuga carey y la tortuga común. Viven en aguas tropicales o templadas cálidas, puesto que no tienen dispositivo interno alguno para protegerse del frío; sin embargo, la tortuga común y la tortuga franca hibernan de alguna manera en el fondo o cerca de él, especialmente en galerías excavadas en profundidad.

Descendientes de tortugas terrestres que volvieron al mar, las hembras de estas especies continúan moviéndose torpemente por las playas para desovar en nidos que excavan en la arena. Los ciclos vitales varían ligeramente entre los diversos géneros. Por ejemplo, las tortugas francas son herbívoras, mientras otros tipos de tortugas se nutren de invertebrados como cangrejos y medusas. La mayor es la tortuga laúd.

Durante siglos, las tortugas francas fueron fuente de alimentación para el hombre, y por este motivo se han obtenido numerosas informaciones sobre su ciclo



La evolución de los reptiles. *El esquema de la derecha ilustra, a grandes rasgos, la evolución de los reptiles. Se piensa que éstos descienden de un primitivo tronco de anfibios que se desvinculó del agua y empezó a reproducirse mediante un huevo amniótico.*





La reproducción de las tortugas. *Las hembras de la tortuga franca del Atlántico, tras la época de celo, parten desde el Brasil y llegan a la isla de Ascensión; esperan a la noche para salir del agua y luego se adentran en la playa (1) donde excavan un agujero y cada hembra pone hasta un centenar de huevos (fotos de arriba, en la página siguiente). Estos huevos, tras unas diez semanas, eclosionan. Los pequeños se dirigen inmediatamente hacia el mar (2) y sólo muy pocos logran llegar al agua. A la derecha:* Dermochelys coriacea, *la tortuga laúd de los mares tropicales, la mayor existente.*







vital. Las hembras de la tortuga franca del Atlántico llegan a la madurez sexual a los cinco años. Construyen el nido sólo cada dos o tres años, pero en los años propicios pueden construir hasta cinco o seis. En cada temporada ponen cerca de 100 huevos en forma de pelota de ping-pong.

Tras la puesta sobreviene de inmediato el estadio más vulnerable de todo el ciclo vital, al ser los nidos presa de otros animales. Tras unos sesenta días, los pequeños emergen del huevo y tienen que recorrer el camino que los lleva del nido al mar. Si no son devorados por las aves o los cangrejos, en cuanto tocan el agua se ponen a nadar y se dirigen siempre hacia el fondo. Mientras los adultos no tienen más enemigos que los tiburones, las orcas y el hombre, los pequeños son devorados por muchos tipos de peces. No es de extrañar que sean pocas las tortuguitas que logran superar tantos riesgos.

Pero es que en realidad todas las tortugas están en peligro. Aparte de la depredación por parte del hombre y de otros animales, a nosotros nos gusta vivir a la orilla del mar o, por lo menos, veranear en la costa. Por eso, si queremos ver todavía a estos animales por mucho tiempo, debemos dejar a las hembras una porción de playa libre donde puedan desovar tranquilamente: no les gusta, en efecto, hacerlo en zonas pobladas; los pequeños, cuando marchan al agua de noche, tienden a ser atraídos por las luces de la orilla. En las costas occidentales de México, por ejemplo, se han dispuesto ya zonas a propósito con esta finalidad.

Serpientes y saurios

DE todos los reptiles que pasan hoy su existencia en el mar, sólo algunos miembros de la familia hidrófidos, esto es, las serpientes de mar, han logrado cortar todos sus vínculos con tierra firme, incluso por lo que concierne a la reproducción. En este sentido, son los únicos auténticos reptiles marinos.

Existen unas 50 especies conocidas de serpientes marinas, la mayor parte incluidas en el género *Hydrophis*. Sólo una especie, la pelágica *Pelamydrus platurus*, la serpiente de mar de vientre amarillo, ha logrado atravesar el Pacífico para llegar a las costas occidentales americanas. Está presente en la costa occidental de México, desde Mazatlán, aproximadamente, hasta América meridional.

En el Atlántico no se conocen serpientes de mar, mientras la especie *Pelamydrus platurus* está difundida, hacia occidente, en el océano Indico hasta Africa oriental y el cabo de Buena Esperanza.

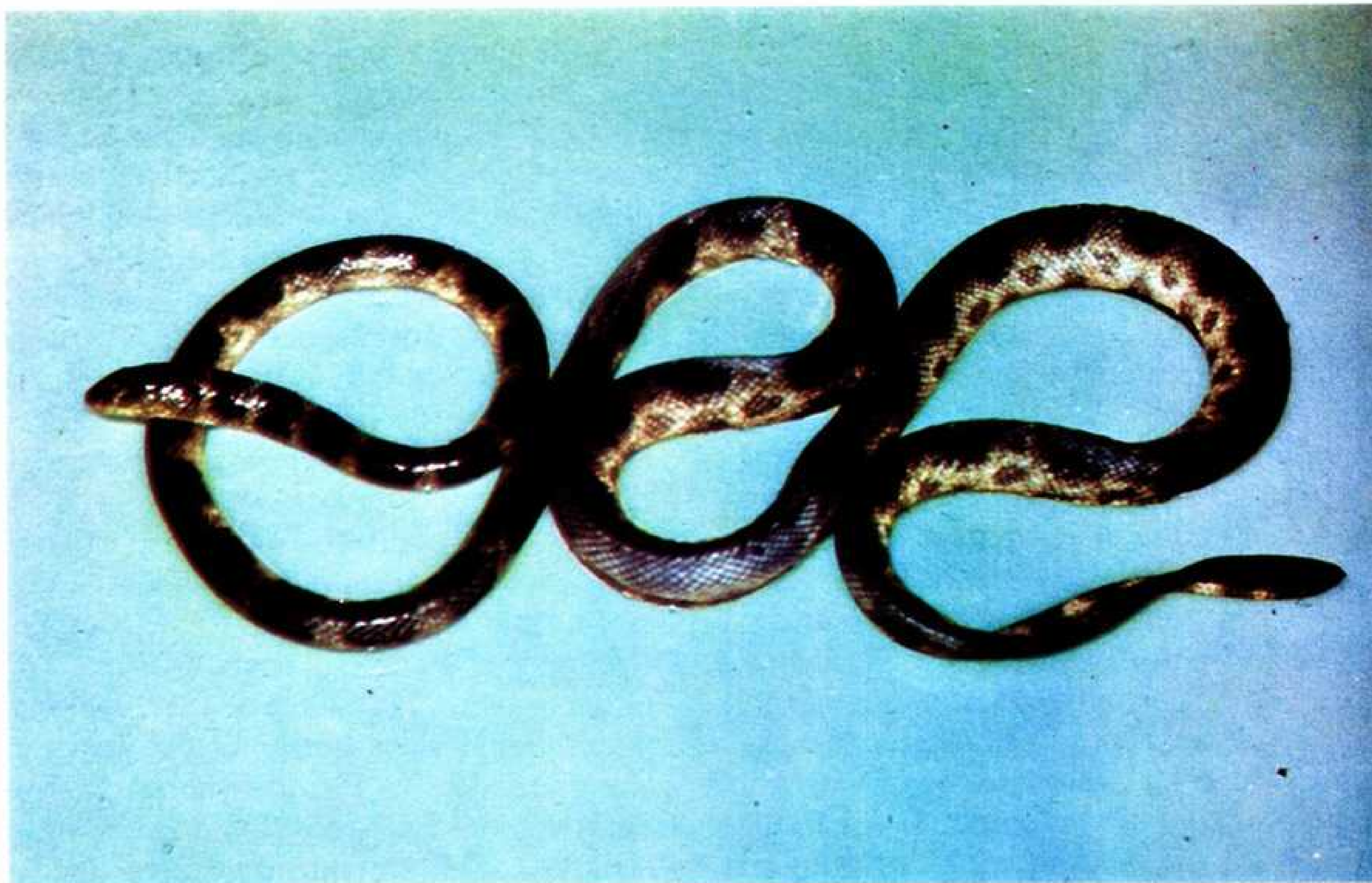
Dado que las serpientes de mar son cria-







Anillos bajo el agua. *Las serpientes de mar, que viven preferentemente en las zonas de escollera (en la fotografía superior), tienen la cabeza tan ancha como el cuello (en el medio), para poder hendir mejor el agua. A la derecha,* Lapemis hardwickii; *en la página siguiente, de arriba abajo:* Hydrophis elegans, Laticauda calubrina, Pelamydrus platurus.







turas que viven preferentemente en mares poco profundos, su máxima diversidad y abundancia se dan en dos áreas separadas entre sí por amplias zonas con aguas más profundas. Las especies de los mares de la región australiana difieren claramente de las poblaciones de las Indias Orientales, aun cuando ambas áreas tienen en común ciertas especies pelágicas de amplia difusión. Un especie, *Hydrophys semperi,* parece haber regresado a un género de vida dulceacuícola en el lago Taal, en la parte meridional de Luzón, en las Filipinas.

Algunas especies tienen la costumbre de exponerse al sol en la superficie del agua, donde se dejan flotar. En las Filipinas, una especie en particular, *Laticauda semifasciata,* se reunía por miles de ejemplares para reproducirse en las grutas marinas de Gato, una isla situada al norte de Cebú.

La serpiente de mar es un miembro marino especializado de la familia de los elápidos, que incluye también las cobras, las mambas y las corales. Se trata de serpientes sumamente peligrosas. En el laboratorio, los venenos de algunas serpientes de mar aparecen como los más tóxicos entre todos los de serpiente.

Las serpientes de mar muestran adaptaciones a la vida marina. Tienen, en efecto, colas comprimidas en sentido vertical (en forma de remo), narices situadas dorsalmente, que cierran mediante válvulas, y glándulas de la sal. Aparte de estas propiedades generales se dan amplias variaciones, y la familia se puede dividir a grandes rasgos en dos subfamilias, hidrófidos y laticaudinos. Estos últimos, que incluyen tres géneros, conservan en buena parte el tipo de escamas de las serpientes terrestres, con gruesas escamas en el vientre y otras imbricadas o parcialmente superpuestas en el dorso. Algunos miembros de este grupo, el más primitivo de las serpientes de mar, deben volver todavía a tierra para desovar. Los miembros de la subfamilia más avanzada, los hidrófidos, tienen escamas ventrales de dimensión notablemente reducida y las escamas sobre el dorso no se superponen; nunca se las ha visto regresar a la orilla por ningún motivo.

Mientras que muchos reptiles se han adaptado a un género de vida en las márgenes del mar, sólo una especie —aparte de las serpientes de mar, las tortugas marinas y los cocodrilos— se ha comprometido en una existencia marina. Se trata de la iguana *Ablyrhynchus cristatus,* el único saurio que ha desarrollado un hábitat primariamente marino. Limitado a las islas Galápagos, este gran saurio se sumerge hasta los 10 metros de profundidad en busca de las algas con las que luego se alimenta.

Los cocodrilos

LAS más de veinte especies de cocodrilos hoy existentes están repartidas en un amplio abanico de hábitats, desde los ríos próximos al Himalaya, cuyas aguas nacen del deshielo, a los pantanos y lagos de las zonas tropicales y templadas, así como al borde del mar donde crecen los manglares, e incluso a mar abierto. Mientras sólo tres especies se pueden considerar verdaderamente marinas o de estuario, la mayor parte penetra en el hábitat de aguas saladas en una u otra localidad. Ninguna es totalmente marina, en el sentido de que todas, como las tortugas marinas y algunas serpientes de mar, deben volver a tierra para la puesta.

Los cocodrilos pertenecen al grupo de los arquisaurios, que incluían en el pasado a los dinosaurios y a los reptiles voladores. El más antiguo cocodrilo identificado, *Proterochampsa*, fue descubierto en yacimientos del Triásico medio de la Argentina occidental, que formó parte del supercontinente Gondwana. Los arquisaurios se desarrollaron rápidamente, produciendo una notable variedad de especies de grandes dimensiones y de elaborada coraza.

En el curso de esta larga historia, los cocodrilos se difundieron en casi todos los ambientes, pero sólo un grupo, la familia de los metrioríquidos, invadió los mares abiertos. Los metrioríquidos eran animales de cuerpo fusiforme con una reducida coraza, con miembros transformados en aletas y dientes también modificados para cortar o desgarrar grandes presas, pero menos adecuados en cambio para capturar peces de pequeñas dimensiones; se desconoce su biología reproductiva. Junto con un grupo afín, los telosáuridos, proliferaron durante el Jurásico y persistieron en el Cretáceo, y luego se extinguieron. Los telosáuridos tenían una pesada coraza y un largo hocico, parecido al del actual gavial hindú, especializado en la captura de peces. También sus patas se habían desarrollado bien, y vivían probablemente cercanos a las costas, volviendo periódicamente a tierra.

Es de imaginar que una mayor independencia térmica y eficiencia fisiológica, asociadas a cuidados parentales elaborados respecto de los nidos y las crías, debieron de determinar en los cocodrilos la distinción entre extinción y supervivencia.

Los cocodrilos actuales resultan notablemente semejantes a sus antepasados, e imperan en los ambientes acuáticos tropicales, tanto marinos como de agua dulce, donde no haya interferencias humanas. Se pueden clasificar en tres grupos: cocodrílidos (que incluyen el cocodrilo del Nilo, el poroso, el de Guinea, el palustre y el falso gavial), aligatóridos (que incluyen los caimanes y aligatores) y gaviálidos. Excepto el gavial y el falso gavial, las demás formas son bastante similares en el aspecto general y sólo se pueden distinguir por detalles anatómicos. Todas las especies tienen en común caracteres relacionados con su hábitat acuático: ojos y nariz localizados dorsalmente, velos cutáneos sobre los ojos y un paladar secundario que les permite respirar incluso con la boca llena de agua.

La longevidad y el tamaño de los cocodrilos son objeto de discusión. Se habla a menudo de grandes animales en cautividad cuya edad supera el siglo, y se sostiene la existencia hasta de patriarcas de mil años de edad.

La longitud máxima de las diversas especies de cocodrílidos varía considerablemente, desde los pequeños caimanes sudamericanos o los cocodrilos enanos africanos de 1-2 metros de longitud hasta el cocodrilo poroso o marino *(Crocodylus porosus)* de la región indoaustraliana, que alcanza los ocho metros o más. Se tienen incluso noticias, aunque no documentadas, de algunos ejemplares de 10 metros. El cocodrilo americano *(Crocodylus acutus)*, difundido desde México y la Florida meridional, a través del mar Caribe y el Pacífico, hasta la parte septentrional de la América meridional, puede llegar a los siete metros. Entre los manglares de la Florida meridional sobreviven aún hoy unos 200 ejemplares de esta especie amenazada. Una de las mayores concentraciones naturales todavía existentes está hoy protegida y se encuentra en el lago Enriquillo, en la República Dominicana. El cocodrilo del Nilo *(Crocodylus niloticus)* está difundido en el continente africano y vive en los ríos de ancho cauce, en lagos y pantanos, así como en los ambientes costeros. Puede superar los seis metros de longitud; las demás especies que superan también este límite son el aligátor americano, el cocodrilo intermedio *(Crocodylus intermedius)* de las regiones septentrionales de la América meridional y el gavial de la India, de Bangladesh y de Birmania.

Los cocodrilos marinos. Deben su nombre a la costumbre de nadar a mar abierto; aunque generalmente viven en aguas dulces.



La ola en movimiento



Naturaleza de las ondas

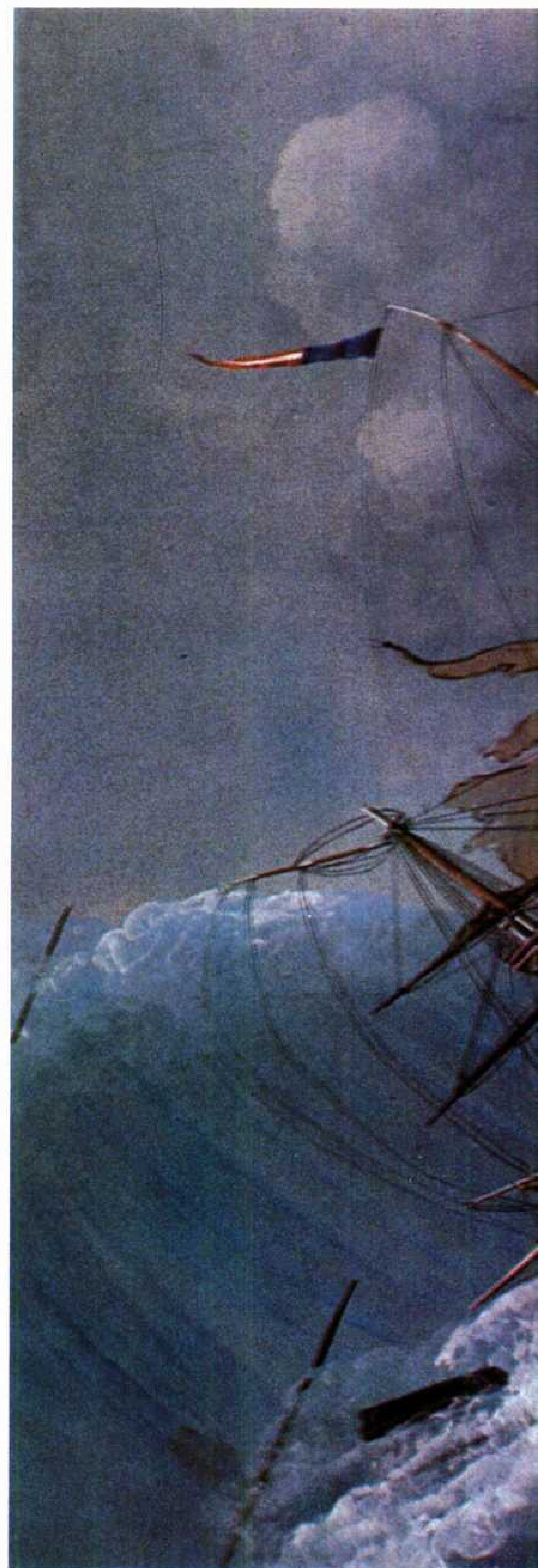
PODEMOS hacernos una idea de lo que es una onda (u ola) tirando una piedra a un estanque. Ante todo, se necesita una fuente de energía (la piedra que cae); en segundo lugar está el fenómeno de la transmisión de esta energía, bajo forma de una cresta, de una oscilación que irradia en todas direcciones a partir de la fuente. La rapidez con que la onda se propaga define su frecuencia. La distancia que separa a dos crestas sucesivas del tren de ondas se llama precisamente longitud de onda. Período es el tiempo que tardan en pasar dos crestas sucesivas por un mismo punto (se suele expresar en segundos). Finalmente, la distancia que separa la cresta del seno de la ola recibe el nombre de altura o amplitud de onda.

Existen dos grandes categorías de ondas. Las ondas electromagnéticas (rayos X, ultravioletas, luz visible, infrarrojos, ondas de radio) se desplazan en el vacío, pero son prontamente frenadas por los cuerpos pesados (atmósfera, agua, sólidos). Por el contrario, las ondas mecánicas, o de presión, no se propagan en el vacío; ponen directamente en movimiento las moléculas (bien sean de gases, de líquidos o de sólidos), y a veces se advierten a grandes distancias en tales medios. En esta categoría hay que clasificar a las ondas sonoras y también a las ondas sísmicas; estas últimas, conducidas de diferente modo por las sucesivas capas de nuestro planeta, han permitido determinar su estructura interna.

Se puede comprobar que existen en el océano varios tipos de ondas mecánicas. Las más conocidas son provocadas por la acción del viento: los balanceos del oleaje y las olas que rompen sobre la playa..., cuando no sirven de «montura» a los aficionados al *surfing*. Las olas de marea se ponen en movimiento por la atracción de la Luna y del Sol. Otras olas, como los maremotos o *tsunamis* (como se les llama en Japón), causadas por terremotos marinos o explosiones volcánicas, tienen una formidable potencia.

Los marinos supieron desde siempre que el oleaje y las olas se deben a la acción del viento. Pero fue en el siglo XIX cuando se inició el estudio sistemático (y matemático) de estos fenómenos. Si en el mundo sólo existiera un viento de fuerza constante y un solo tipo de costa perfectamente rectilínea, esta investigación sería bastante fácil. Pero, naturalmente, no ocurre nada parecido. Los trenes de olas se refuerzan o se contrarrestan entre sí. Algunos forman franjas de interferencia con otros de la misma frecuencia. Existen olas solitarias (como los *tsunamis*) que perturban a todas las demás, etc. A partir de ahora, la ciencia de las olas oceánicas comienza su desarrollo.

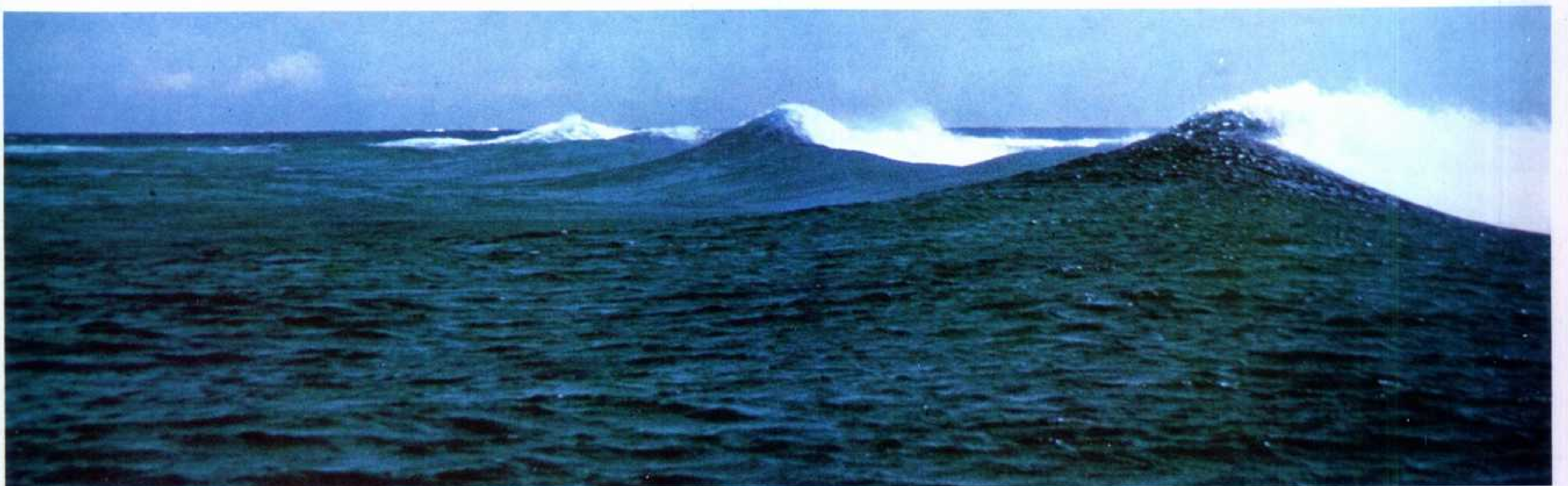




Las olas del mar. *La teoría de las ondas mecánicas es sobradamente conocida de todos. Pero, en el océano, son tantos los parámetros, que resulta casi imposible incluirlos en una ecuación. Los movimientos ondulatorios que afectan al mar se deben a los astros (mareas), a los vientos (oleaje y olas), a los seísmos (maremotos), etc. Influyen a su vez en los climas y en el aspecto de las costas; y han inspirado también a numerosos artistas de todo tiempo y país. Arriba:* Olas, *del pintor japonés del siglo XVIII Ogata Korin. Abajo: barcas zarandeadas por el oleaje, en una miniatura española del siglo XIV. A la derecha, arriba: en una pintura americana de 1833, el* Constellation *en medio de una extraordinaria tempestad. En la página siguiente, abajo, a la derecha: fotografía de una ola solitaria.*



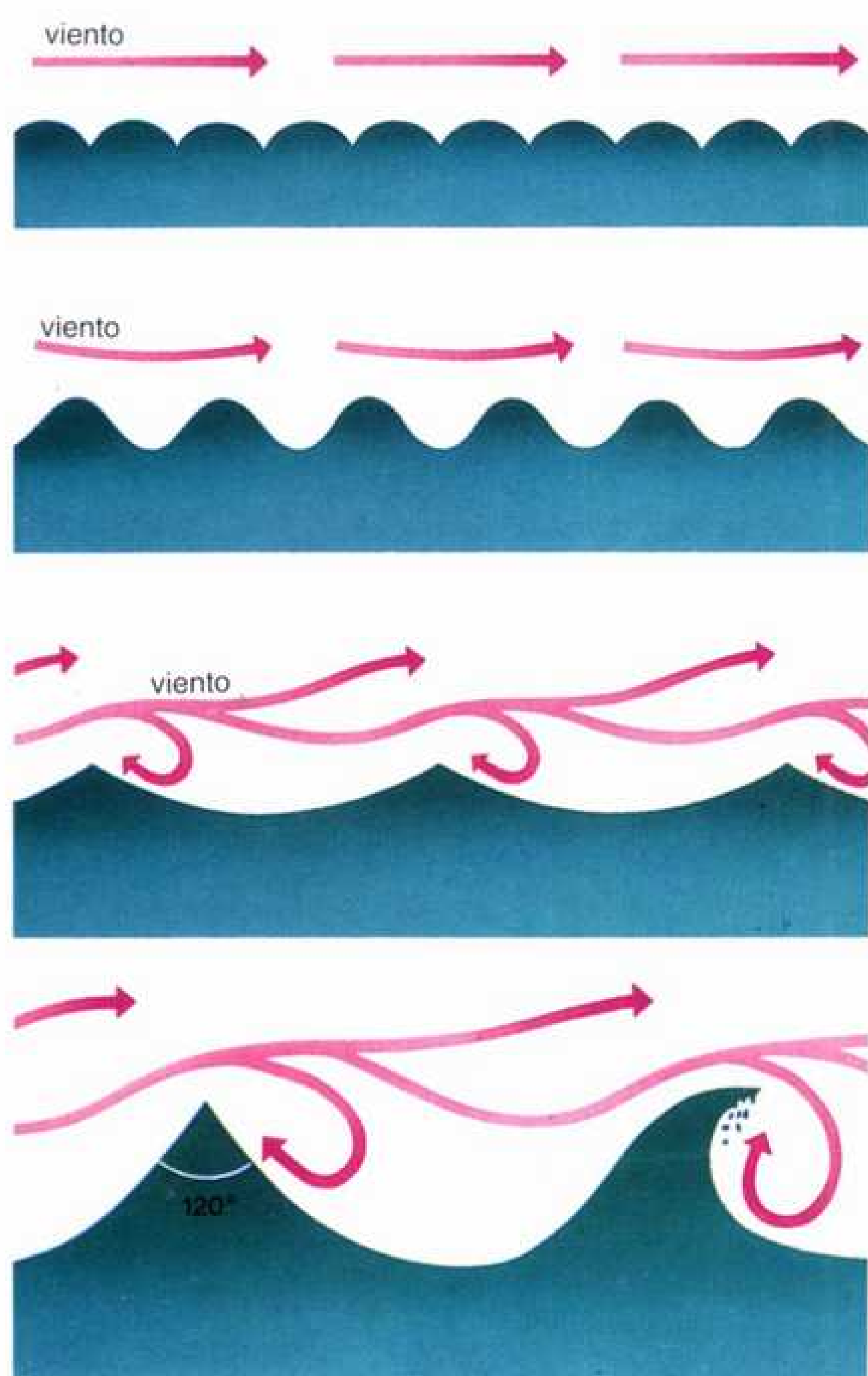


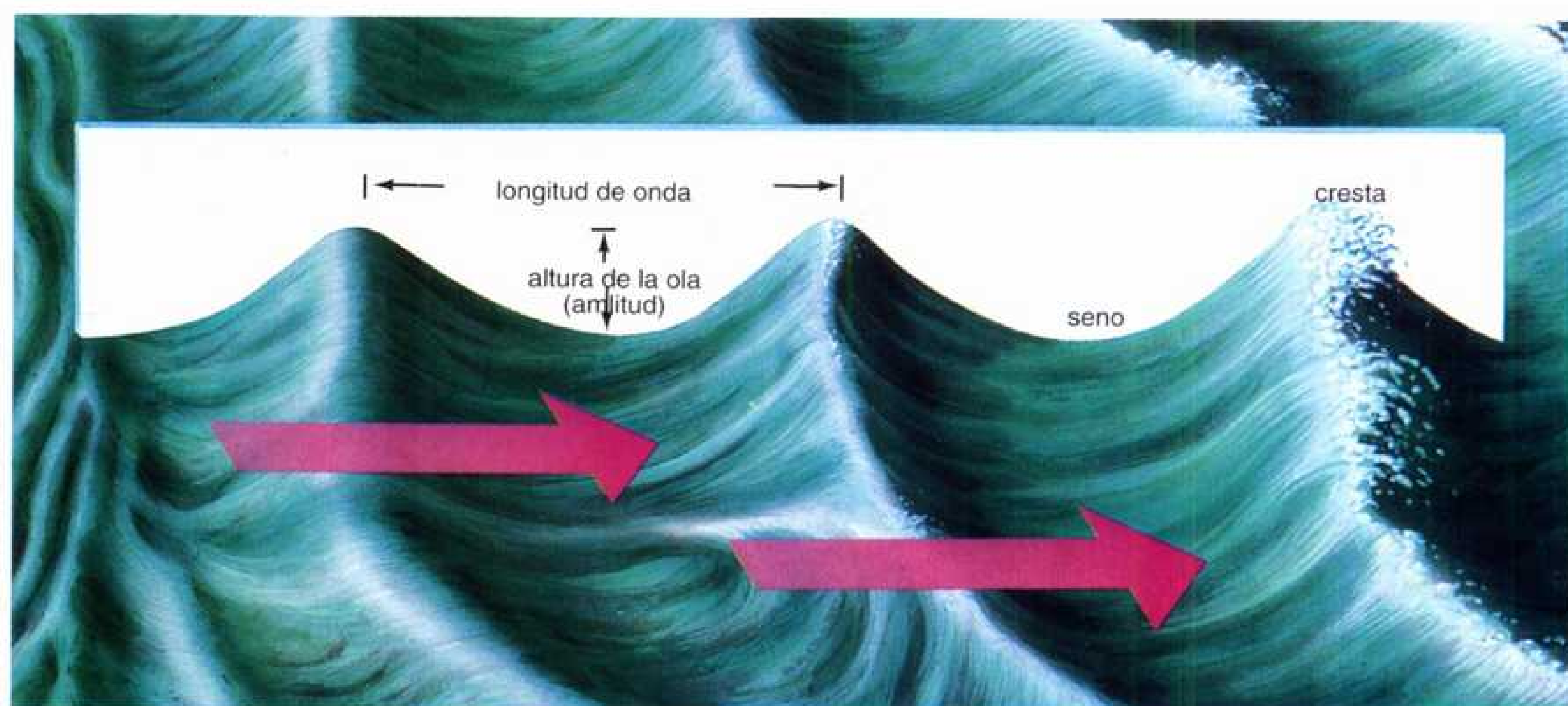


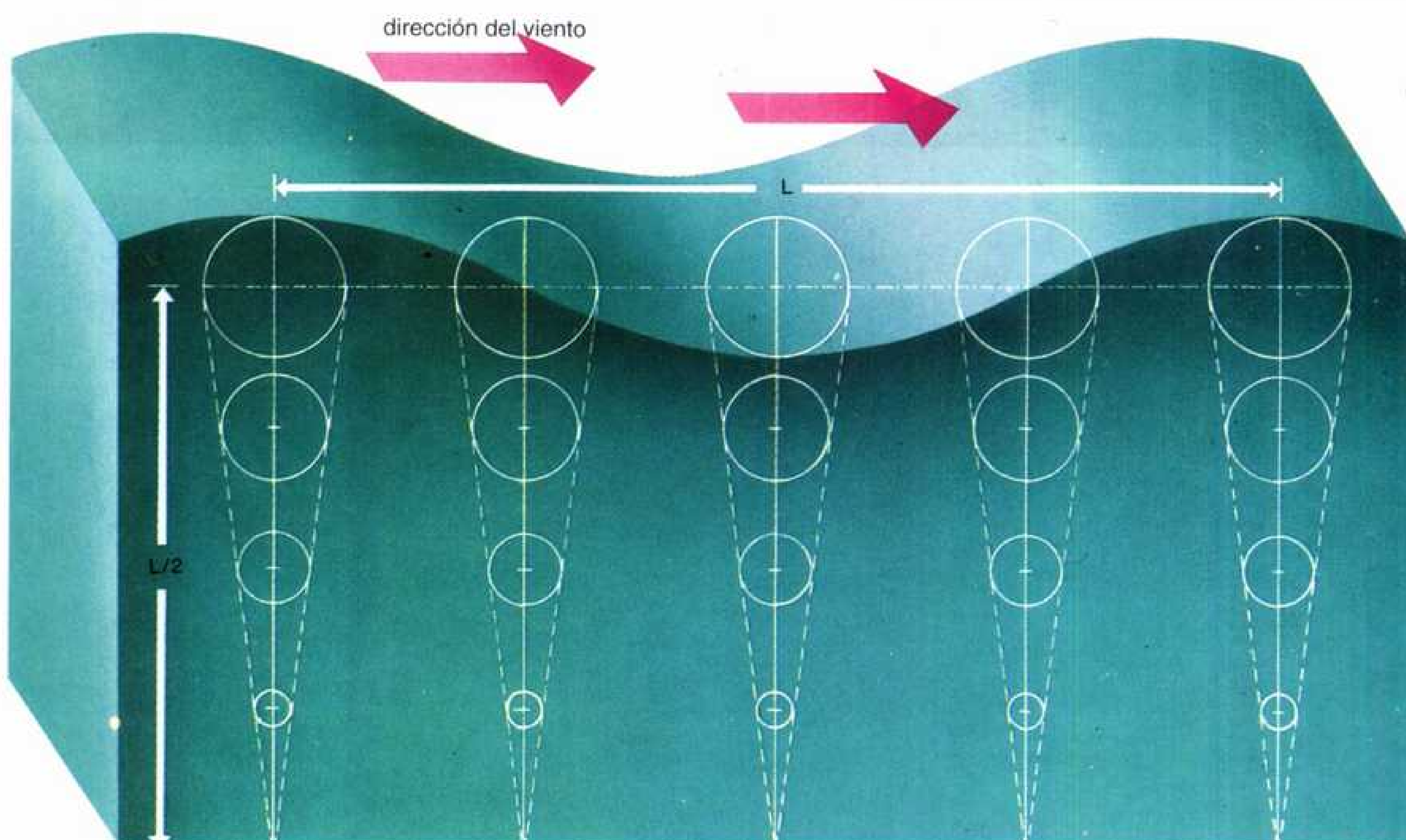
El papel de los vientos

CUANDO sobre la superficie en calma del mar empieza a soplar un viento moderado, se produce una sucesión de pequeñas crestas cuya longitud de onda no excede de algunos centímetros (y que se llaman olas capilares). A medida que el viento cobra fuerza, el roce que ejerce sobre la capa líquida produce en ella una tensión horizontal; las partículas de agua entrechocan y recorren una trayectoria más o menos circular, análoga a la que describen los travesaños de una escala de cuerda cuando se agita. En realidad, la ola se propaga sin poner en movimiento la masa de agua afectada. Cuando estamos en una barca (si no hay corriente, y si el viento por sí solo no hace que la embarcación derive) comprobamos que experimentamos desplazamientos verticales (como en un ascensor), pero que no avanzamos. Esto se debe a que los movimientos orbitales de las partículas acuosas se pierden hacia abajo en el agua profunda, hasta que se disipa toda su energía. Una partícula situada cerca de la superficie recorre una órbita cuyo diámetro es más o menos igual a la altura de la ola. Una partícula más profunda sigue una trayectoria cuyo diámetro es tanto menor cuanto la partícula más lejos se encuentra de la superficie, hasta que se anula. Un submarino sumergido a una profundidad superior a la mitad de la longitud de la ola no sufre efecto alguno por parte de ésta. La altura y la longitud de la ola generada dependen de la fuerza y de la regularidad del viento. Cuando éste sopla en ráfagas, o cambia de dirección continuamente, da lugar a fenómenos ondulatorios discontinuos, encontrados. Por el contrario, los alisios —vientos muy regulares— forman un oleaje muy característico desde el punto de vista de sus parámetros físicos. El comportamiento de las olas está en función también de la fisonomía de la cuenca: el viento es tanto más eficaz cuanto más espacio abierto encuentra ante él. Un viento cuya velocidad sea de 70 kilómetros por hora puede levantar un oleaje de 11 metros de altura si tiene ante sí 1.000 kilómetros de mar abierto; pero si puede soplar de igual manera sobre varios miles de kilómetros, la altura de la ola alcanzará hasta 15 metros. Esto explica la potencia de las olas en la zona de los «Cuarenta Rugientes», esa latitud del hemisferio austral en la que las borrascas no encuentran tierra firme alguna a su paso. Por el contrario, los terribles vientos de los ciclones y los huracanes tropicales no levantan olas considerables porque no cesan de cambiar de dirección al arremolinarse.

Todos los marinos gustan de contar historias de olas prodigiosas, «altas como un edificio». Y aún los menos exagerados dan crédito a la leyenda de la «ola del siglo», más monstruosa de lo que imaginarse pueda. Naturalmente, puede haber olas impresionantes cuya aparición depende no sólo de la fuerza del viento, sino también de muchos otros factores. En alta mar, por ejemplo, en medio del Atlántico Norte o del Pacífico, las olas alcanzan ciertamente alturas de 20 metros. Entre los diferentes récords que han sido «homologados» por las autoridades marítimas se cuenta el del 7 de febrero de 1933. Ese día, el buque cisterna americano *Ramapo* se vio envuelto en una tempestad. Los oficiales de a bordo midieron las variables de las olas (procediendo a la triangulación con el horizonte, la cota y la cresta de las olas); registraron una velocidad de desplazamiento de 102 kilómetros por hora, un período de 14,8 segundos y una altura de ola de 34 metros.





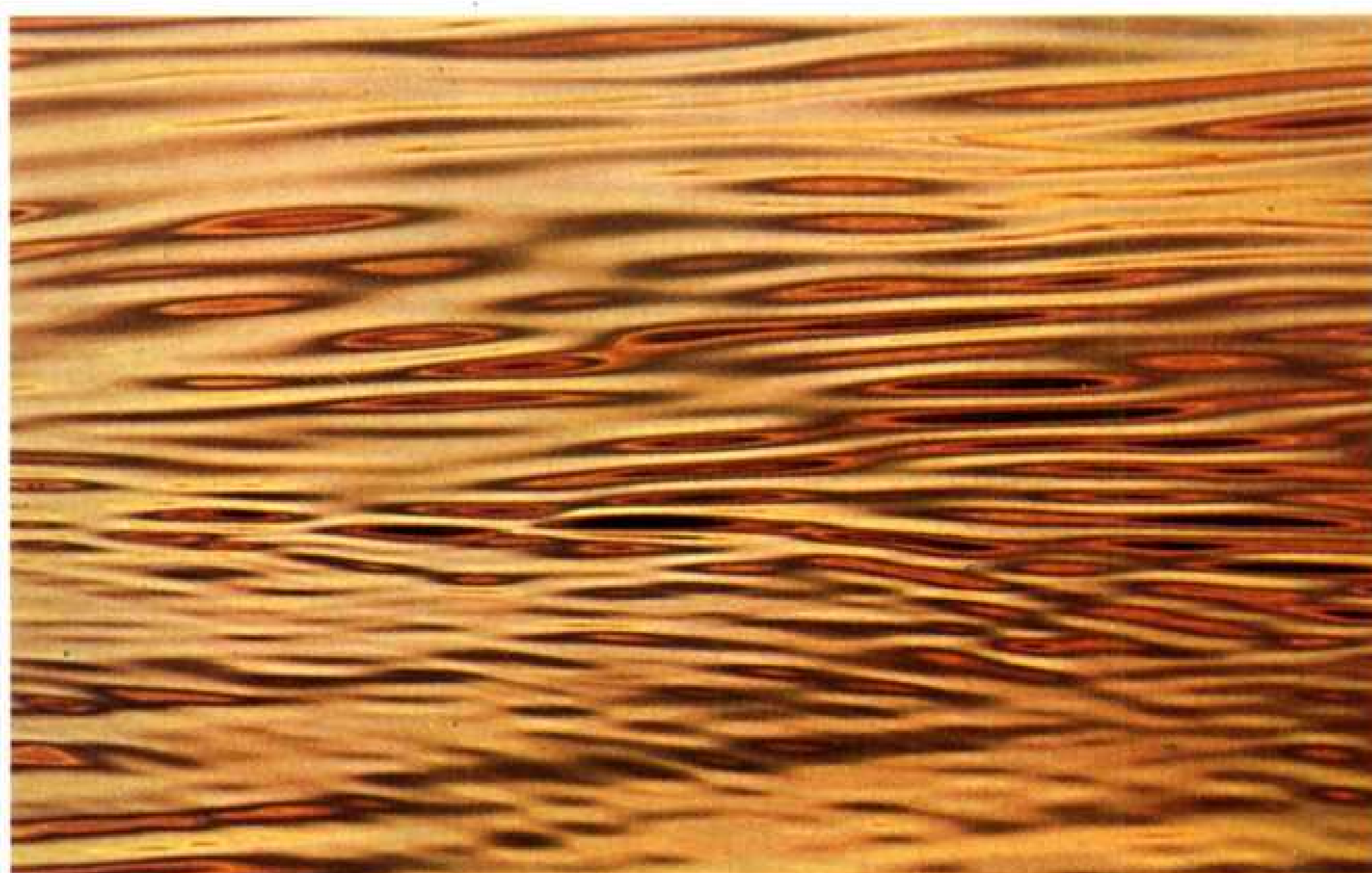


La forma de las olas. *Arriba: forma que adoptan las ondas del oleaje, creadas por el viento; se advierte que cuando el ángulo de la cresta es inferior a 120º, la ola tiende a romper. A la derecha: representación esquemática de la trayectoria de las partículas de agua en el oleaje, en función de la profundidad. En la página siguiente: un esquema de la escala de Beaufort y, a su derecha, una serie de fotografías que la ilustran.*

ESCALA DE BEAUFORT

Esta escala, conocida por todos los marinos y los aficionados al deporte de la vela, es puramente empírica: describe el estado de la mar en función de la velocidad del viento.

Grados Beaufort	Terminología correspondiente	Km/h	Efectos observados en alta mar
• 0	Calma	1	Como una balsa de aceite o un espejo
• 1	Brisa o ventolina	1-5	Se forman pequeñas crestas, parecidas a escamas, pero sin espuma
• 2	Flojito	6-11	Olas cortas, pero claramente visibles. Las crestas tienen apariencia vidriosa, pero no rompen.
• 3	Flojo	12-19	Pequeñas olas, cuya cresta empieza a romperse. Espuma de aspecto vidrioso.
• 4	Bonancible	20-28	Aunque todavía sereno, el mar empieza a encresparse un poco
• 5	Fresquito	29-38	Olas de moderada dimensión, con forma visiblemente alargada. "Cabrillas" bastante abundantes.
• 6	Fresco	39-49	El oleaje está ya formado, potente, Se generalizan las crestas de espuma blanca. Brumazón.
• 7	Muy fresco	50-61	Mar gruesa. La espuma blanca del oleaje que se levanta empieza a desprenderse en largos jirones, orientados en el sentido del viento.
• 8	Frescachón	62-74	El oleaje cobra mayor amplitud. Las olas, sin reventar aún, originan en el borde de la cresta vertiginosos torbellinos de rocío.
• 9	Duro	75-88	Oleaje enorme. Por doquier nubes de espuma sobrevuelan el mar. La cima de las olas vacila; éstas adoptan aspecto espiral y rompen en "rodillos" poderosos. La neblina reduce la visibilidad.
• 10	Muy duro o temporal	89-102	Oleaje impresionante: todas las cretas con penacho de espuma, cuyos "paquetes" son tan grandes y numerosos, que se aglomeran en anchas franjas. Todo el mar parece blanco. Los "rodillos" rompen con gran violencia. Mala visibilidad.
• 11	Huracanado o borrasca	103-117	El oleaje alcanza altura excepcional (un barco pequeño en el seno de la ola) pierde de vista la linea del horizonte). Mar totalmente cubierto de espuma. El viento hace romper olas gigantescas. Visibilidad reducida a pocos metros.
• 12	Huracán	118-133	El aire se llena de espuma; mar enteramente blanco. Las olas ponen en peligro incluso a grandes buques. Visibilidad casi nula









Olas gigantes

La ola puede ser provocada por la piedra que cae en el estanque. Pero puede originarse también por una sacudida que viene desde abajo. Esto ocurre en el mar cuando el fondo es sacudido por un terremoto. El seísmo crea una violenta fuente de energía, que irradia en enormes oscilaciones en la superficie. La ola resultante recibe en japonés el nombre de *tsunami,* o maremoto.



En realidad, los maremotos pueden tener diversos orígenes. El que, en octubre de 1979, provocó varias muertes en la rada de Niza se debió a la acumulación indiscriminada de materiales destinados a la ampliación del aeropuerto. Esta tierra, apilada de forma inestable en la ladera del cañón del Var, se desgajó bruscamente







Los tsunamis. Los seísmos y las explosiones volcánicas pueden originar olas enormes llamadas tsunamis *en japonés. En la página anterior, arriba: el maremoto que siguió al terremoto de Lisboa, en 1755 (grabado de la época). Aquí, a la izquierda: la famosa* Ola, *del pintor Hokusai. Arriba: los epicentros (en rojo) de los principales tsunamis. En medio: propagación.*

originando en la playa una ola de varios metros de altura. Otros maremotos, mucho más potentes, proceden directamente de explosiones volcánicas. El 27 de agosto de 1883, el volcán Krakatoa, situado en una pequeña isla cerca de Sumatra, se volatilizó, por así decir, en la atmósfera. El inmenso agujero que dejó se llenó de agua, que, al precipitarse en él, dio lugar a un devastador *tsunami* que causó más de 36.000 muertes en la región, e incluso en Japón. La ola alcanzó unos 35 metros de altura en la costa de Sumatra; se sintieron sus efectos en todo el Pacífico y en el océano Indico, y llegó a Europa en 32 horas. Después de recorrer los miles de kilómetros que separan Indonesia de la ciudad sudafricana de El Cabo, todavía medía un metro de altura.

Los maremotos se caracterizan por su gran longitud de onda y su considerable rapidez de propagación. El que se desencadenó en las islas Aleutianas, después de un terremoto, el 1 de abril de 1945, tenía una longitud de onda de 150 kilómetros, un período de 15 minutos y avanzaba a más de 800 kilómetros por hora. Cuando la ola se propaga en aguas profundas, su altura es escasa. Un barco que la cruce en alta mar apenas la advertirá; su gran longitud hace que su pendiente sea suave. Pero cuando el maremoto se acerca a la costa, esta gran longitud de onda convierte en catastróficos los efectos del frenado que ejerce la plataforma continental, y la ola se eleva monstruosamente. Al llegar a la orilla, puede tener varias decenas de metros de altura y causar espantosos estragos. Cuando la erupción del Krakatoa, el maremoto empujó 10 kilómetros tierra adentro a una barca en la isla de Java. En una ocasión, uno de estos *tsunamis* entró en un fiordo de Alaska y, como consecuencia, arrasó los bosques costeros hasta alcanzar los 200 metros de altitud.

Es comprensible que semejantes fenómenos cobren muchas vidas humanas. Después del terremoto de Awa, en Japón, en 1703, el maremoto causó 100.000 muertos. Buena parte de las víctimas del seísmo de Lisboa, en 1755, que mató a 60.000 personas, fue achacada al maremoto que le siguió: la ola atravesó todo el Atlántico y medía aún seis metros de altura cuando llegó a las Antillas.

Pero la mayor catástrofe de este tipo tuvo lugar probablemente hacia el año 150 antes de nuestra era.

Cuando explotó el volcán de Santorini, el *tsunami* que se originó al formarse su caldera barrió las islas Cícladas, Creta y el conjunto de las costas del Mediterráneo oriental. A lo que parece, fue este cataclismo el que provocó la desaparición de la brillante civilización micénica, que se había establecido en Creta. Y el que dio lugar, probablemente, al mito de la Atlántida, del que Platón habla en sus diálogos *Timeo* y *Critias*.

Hoy día, el peligro de estas monstruosas olas es considerado tan en serio, especialmente en el Pacífico, que en el Observatorio Magnético de Honolulú se ha creado un sistema de advertencia que abarca las costas del Pacífico pertenecientes a Canadá, Estados Unidos, Chile y Japón, y numerosas islas. Gracias a la creación de esta red de alarma por radio, un maremoto que pudo haber causado miles de pérdidas humanas en Hawai en 1957, afortunadamente sólo provocó daños materiales.

Cuando rompe la ola

EL movimiento circular que describen las partículas acuosas accionadas por el viento, y que da lugar al oleaje, experimenta numerosas distorsiones cuando la ola se acerca a la orilla. Cuando la altura del agua sobre el fondo se aproxima a la altura de la ola, la fricción ejerce poderosos efectos. Las partículas de agua describen una trayectoria cada vez más elíptica. En los fondos arenosos de pendiente suave, el oleaje avanza asimétricamente. Su cresta, menos frenada que su base, tiende a adelantarse.

Cuando la profundidad del agua es menor que la longitud de onda se dice que la ola «siente el fondo». Se hace cada vez más corta y más alta. Su cresta se inclina cada vez más hacia adelante. El límite teórico de estabilidad se alcanza cuando la relación entre la altura y la longitud de onda es de 1/7.

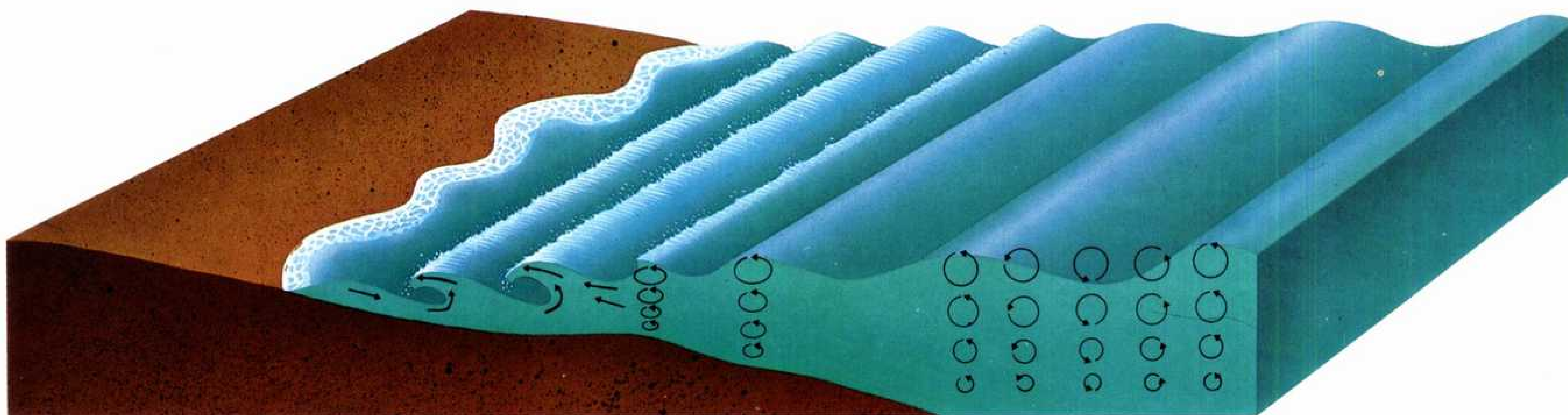
Esto puede ocurrir a mar abierto cuando, por ejemplo, la fuerza del viento aumenta bruscamente. Se dice entonces que el mar «se encrespa»; son las conocidas «cabrillas», cuando las pequeñas olas forman blancas crestas de espuma. Al acercarse el mismo oleaje a la costa, la componente horizontal es mucho más fuerte, debido al efecto de frenado que ejerce el fondo. La cresta sobrepasa rápidamente el pie de la ola, cayendo hacia adelante, y se transforma en rompiente. En ese momento, el fondo del mar está próximo, y nada puede impedir que la ola rompa, desvaneciéndose su fuerza cinética.

Los primeros que utilizaron la fantástica potencia de las rompientes para practicar el *surfing* fueron los indígenas de las islas Hawai. De pie sobre una sencilla tabla «cogen la ola» en el momento en que ésta se hincha al rozar sobre el fondo. Cabalgan la parte delantera de la ola con sorprendente destreza y avanzan así a gran velocidad hacia la orilla, hasta que la ola estalla en un torbellino de espuma.

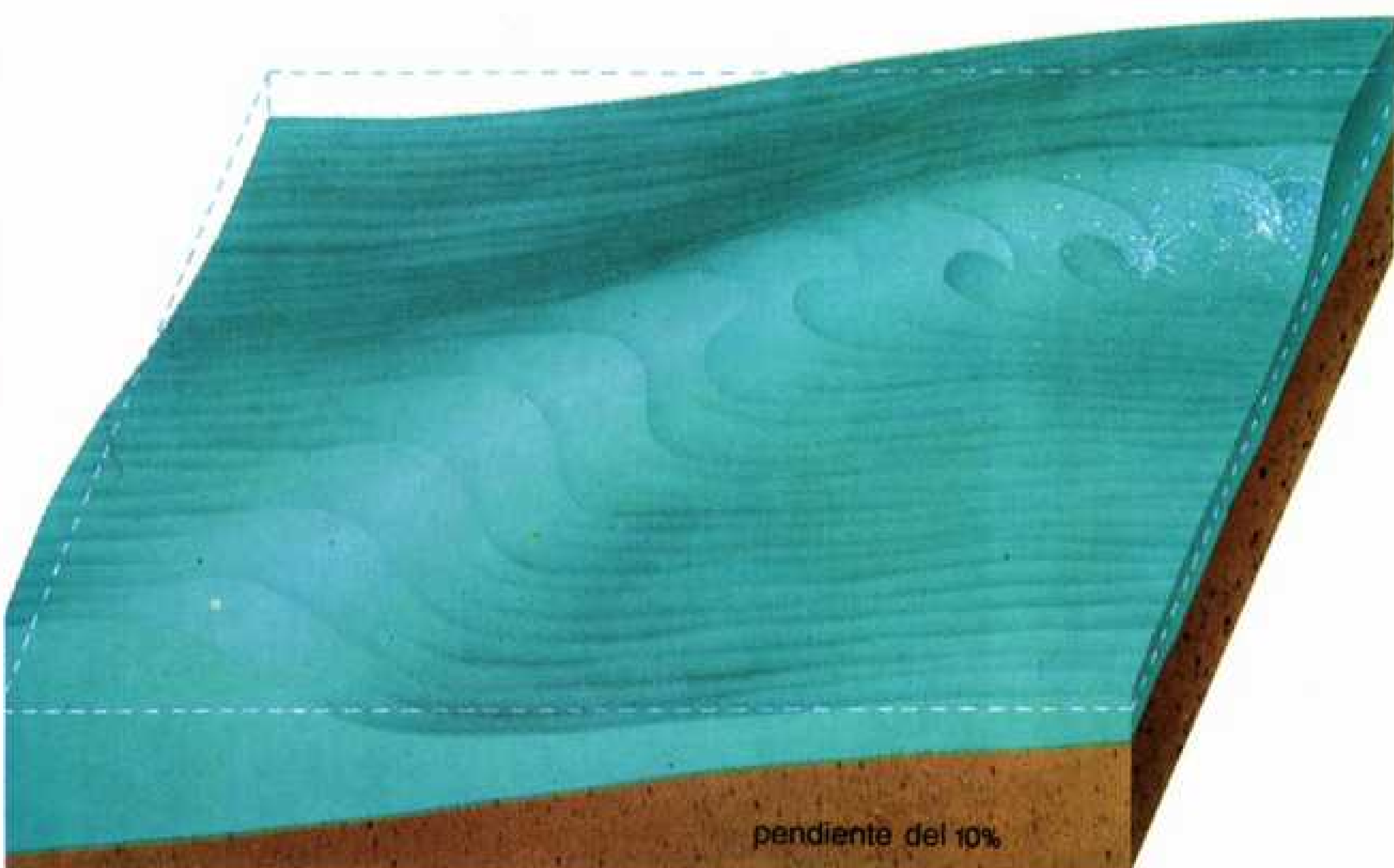
A veces ocurre que, sin soplar el viento, se observan olas en el mar. Este fenómeno se llama «secas», y es bastante fre-



Las olas y las costas. *A mar abierto, las olas del oleaje se traducen en movimientos circulares de las partículas de agua. Movimientos que son cada vez menos amplios a medida que se profundiza. Cerca de las costas, la ola se frena por la fricción con el fondo, y el movimiento se hace elíptico. Cuando la profundidad del agua es menos de la mitad de la longitud de la ola, la cresta se hace inestable: sobrepasa el cuerpo de la ola y tiende a caer hacia delante (esquema inferior). La forma de la ola y la velocidad de la rompiente dependen de la pendiente de la playa (esquemas de la página siguiente, abajo). Las olas adoptan todo tipo de formas y tamaños, desde las gigantescas, que aprovechan los aficionados al* surfing *(arriba), hasta las olitas de ciertas costas protegidas (en la página siguiente, arriba). Y esto por no hablar de la famosa y fantástica «ola del siglo»...*



cuente en California meridional o en ciertas zonas del Mediterráneo, como la bahía de Palma de Mallorca, por ejemplo. Se trata de ondulaciones bajas, de gran longitud de onda. Su causa, desconocida durante mucho tiempo, parece haber desvelado ya su misterio: se deberían a los efectos de los temporales que se abaten a miles de kilómetros de distancia y, especialmente (por lo que a California se refiere), a las violentas turbonadas que azotan la Antártida. Se han detectado secas incluso cerca de Alaska, cuyas olas «madres» se localizaban en el océano Indico, a 18.000 kilómetros en dirección sudoeste. Cuando el viento sopla en dirección de la costa, determinando trenes de olas que rompen en la orilla, provoca una acumulación de agua, una elevación del nivel local del mar. Esta elevación debe tener necesariamente una compensación en alguna otra parte. En efecto, el agua acumulada por el viento regresa hacia alta mar bajo forma de una corriente de fondo, cuya violencia puede ser bastante considerable. Esta corriente es la causante muchas veces de que se ahoguen los bañistas imprudentes. Por eso, si nos vemos arrastrados por ella, lo mejor es no tratar de resistir (cosa totalmente imposible), sino intentar flotar, dejándose llevar hacia alta mar, y pedir auxilio sin que el pánico se apodere de nosotros. A una cierta distancia de la orilla, la corriente se desvanece por sí misma y se puede esperar a que nos presten ayuda.





Arena y guijarros

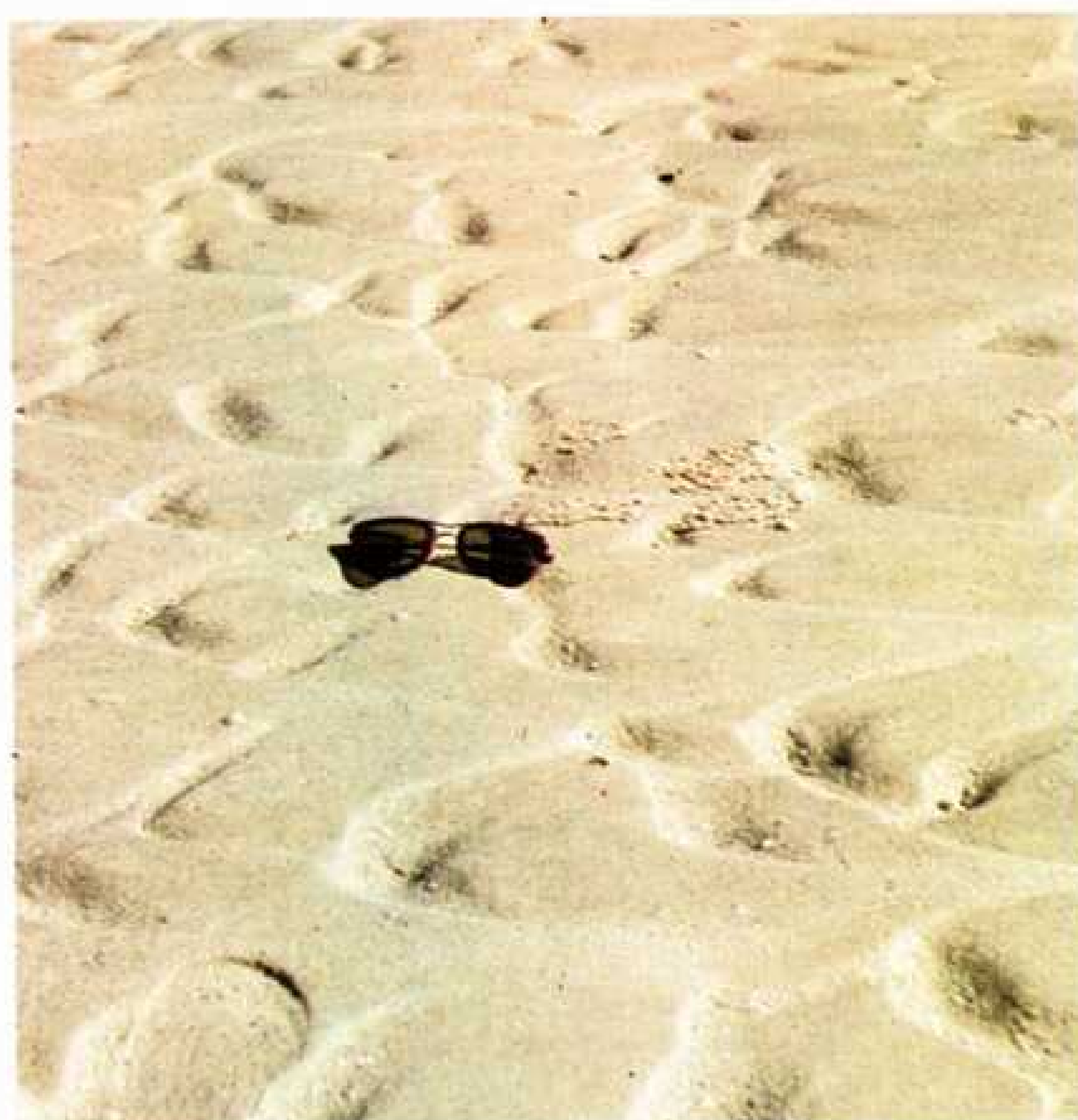
Las olas que rompen contra los acantilados arrancan partículas de arena que el mar deposita en las playas. O bien fragmentan la roca en guijarros que desgastan y alisan a fuerza de frotarlos, transformándolos en cantos rodados. El equilibrio entre las costas rocosas y las arenosas, la formación de estas últimas y la constitución de los cantos rodados, todo ello constituye un capítulo de la oceanografía; a decir verdad, uno de los primeros que se escribieron.

En realidad, en ciertas playas se encuentran acumulaciones de materiales acarreados tanto por el mar como por los ríos, de todo tamaño y dimensión, desde la arena más fina, cuyos granos miden una décima de milímetro de diámetro, hasta guijarros aplastados y ovalados, pasando por la arena gruesa y la grava.

Los cantos rodados se forman muy lentamente. A veces el mar necesita miles de años para hacer de un bloque de roca estas piedras pulidas, aplanadas y ovales que admira el paseante. El proceso de abrasión, como decimos, es muy lento. Se lleva a cabo esencialmente en la zona de la costa donde las olas cargadas de arena fina ejercen incesantemente su acción. Los cantos esculpidos por las olas presentan una típica forma aplastada, que los distingue de los de los ríos, los cuales son redondos porque la corriente no cesa de rodarlos a medida que avanzan río abajo. Por lo demás, los geólogos se sirven de este dato para saber si los cantos fósiles tienen un origen marino o fluvial.

Los granos de arena, por su parte, tienen forma esférica, tanto si proceden del lecho de un río como si proceden de una playa oceánica. Agitados de continuo por las corrientes, esta erosión incesante y aleatoria acaba por darles su estructura peculiar. Cuando se examina un grano de arena al microscopio se advierte que, lejos de ser lisa, su superficie está toda ella estriada o granulosa. Las partículas de arena, independientes entre sí, son removidas sin cesar por las corrientes y las olas. Las corrientes, en concreto, las organizan en el fondo del mar en pequeñas «dunas» regulares, llamadas en inglés *ripple-marks*.

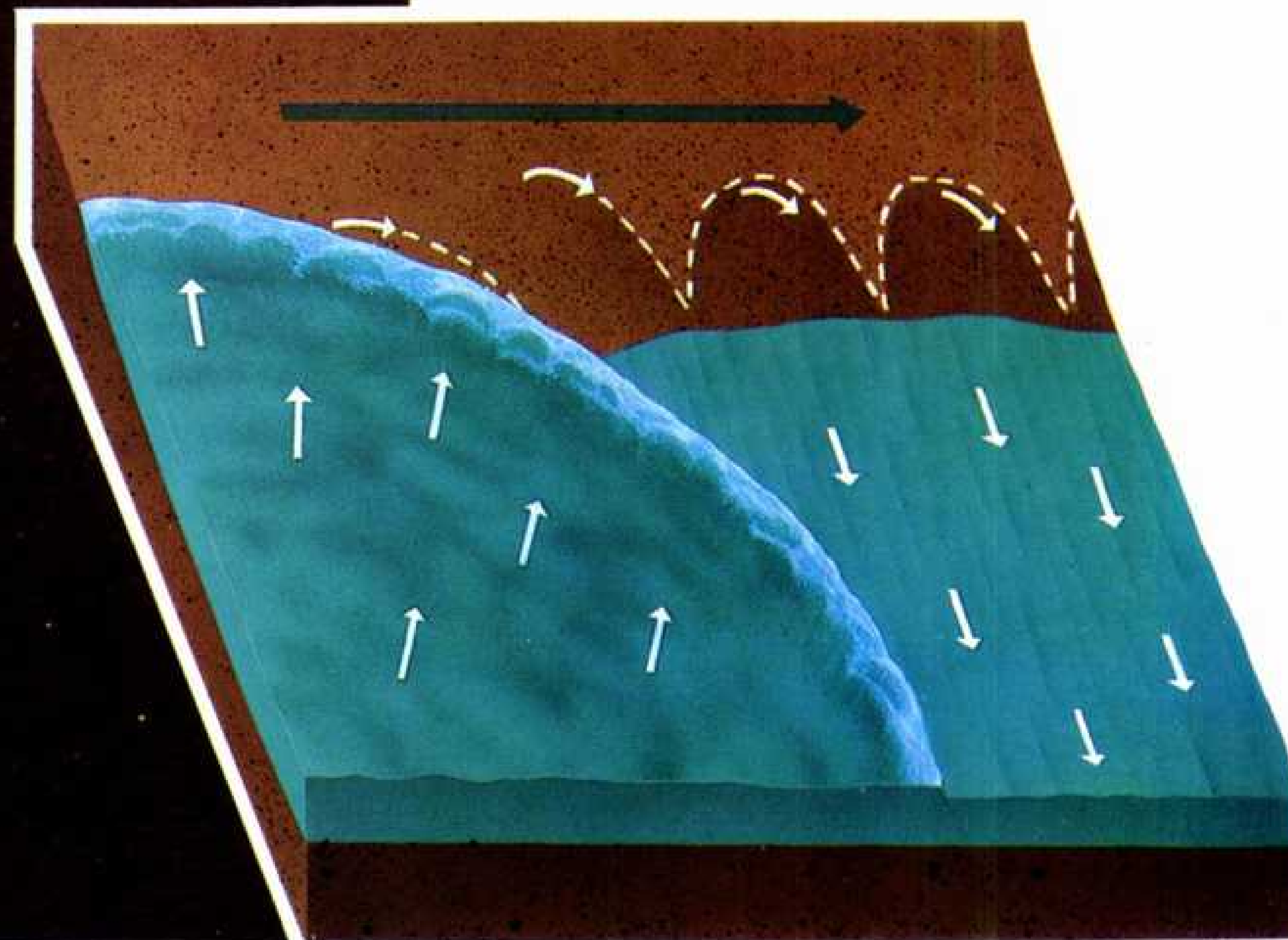
El grano de arena no es la menor de las partículas que el océano deposita en las bahías agitadas o en las costas bajas. Las arcillas están constituidas por partículas más pequeñas todavía (cuyas dimensiones se expresan en micras). Estas micelas tienen, por lo demás, un comportamiento muy peculiar; tienden a aglomerarse unas con otras, formando una capa sedimentaria relativamente homogénea. Los fangos arcillosos de los estuarios y de las zonas de manglar confieren a la orilla una facies muy especial.

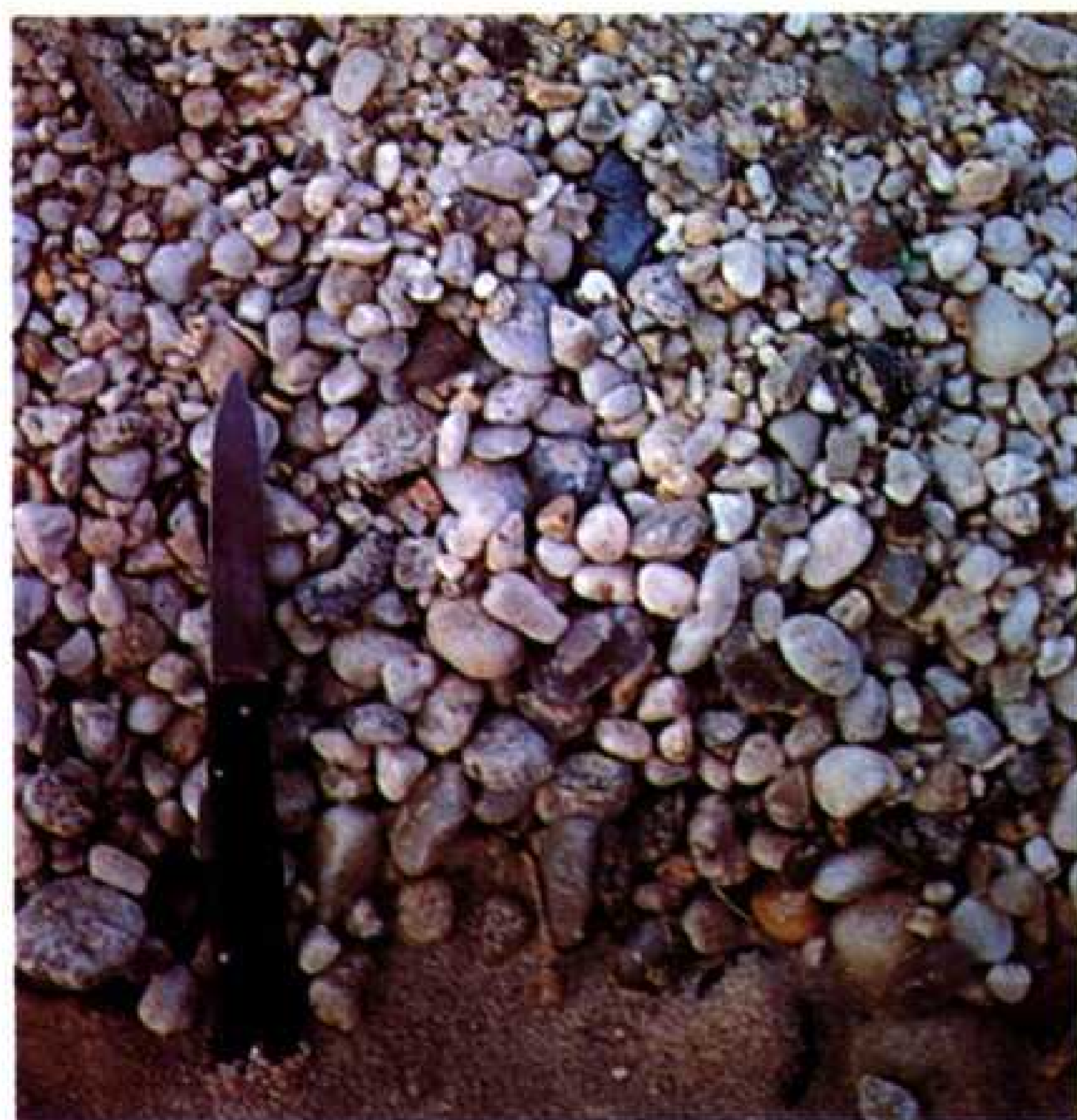


Arena y cantos rodados. *La erosión de las costas rocosas debida al viento, la lluvia, las olas, la acidez del aire, etc., dan lugar a la formación de materiales sedimentarios de muy diverso tamaño, desde las piedras redondas y cantos aplastados hasta arcillas superfinas, pasando por las gravas y las arenas. Arriba y esquema de la página siguiente: cuando las olas se presentan oblicuamente con relación a la línea de la orilla, la arena se deposita formando característicos «arcos». Aquí, a la izquierda: una playa de finísima arena, de origen calcáreo. En la página siguiente, arriba: la resaca deposita partículas de arena en la playa. Abajo, a la izquierda: una playa mixta. Abajo, a la derecha: cantos de lava en la costa de Hawai.*

Existe, evidentemente, una infinita variedad de depósitos sedimentarios. Además de la diferencia de tamaño (guijarros, gravas, arenas, fangos), se adiverten también disparidades de naturaleza. Los geólogos reconocen fácilmente si el canto rodado que tienen en la mano ha sido tallado en un trozo de granito rosa o negro, de gneis de matices rosáceos, de micasquisto blanco y negro, de arenisca amarilla o rosa, de caliza rosa o blanca, de basalto negruzco o azulado.

También las arenas son de diversos tipos. Las más comunes son las de cuarzo blanco y gris. En esencia, se derivan de la acción ejercida por los agentes de erosión (agua y viento) sobre las rocas metamórficas, especialmente los granitos. Las arenas son acarreadas en masa por los ríos. Cuando los terrenos ricos en materias orgánicas (mantillo, humus, etc.), donde viven las bacterias, descansan en un zócalo de granito, los ácidos a que dan lugar atacan a ciertos componentes de la roca. Los feldespatos y los olivinos, o peridotos, son los primeros en descomponerse transformándose en arcillas; luego desaparecen las micas; sólo subsisten los granos de cuarzo. Cuando las aguas los arrastran hacia el lecho principal de los ríos, se liberan de las últimas partículas de arcilla adheridas, y así van a parar al mar, el cual una vez más las rueda y las afina.







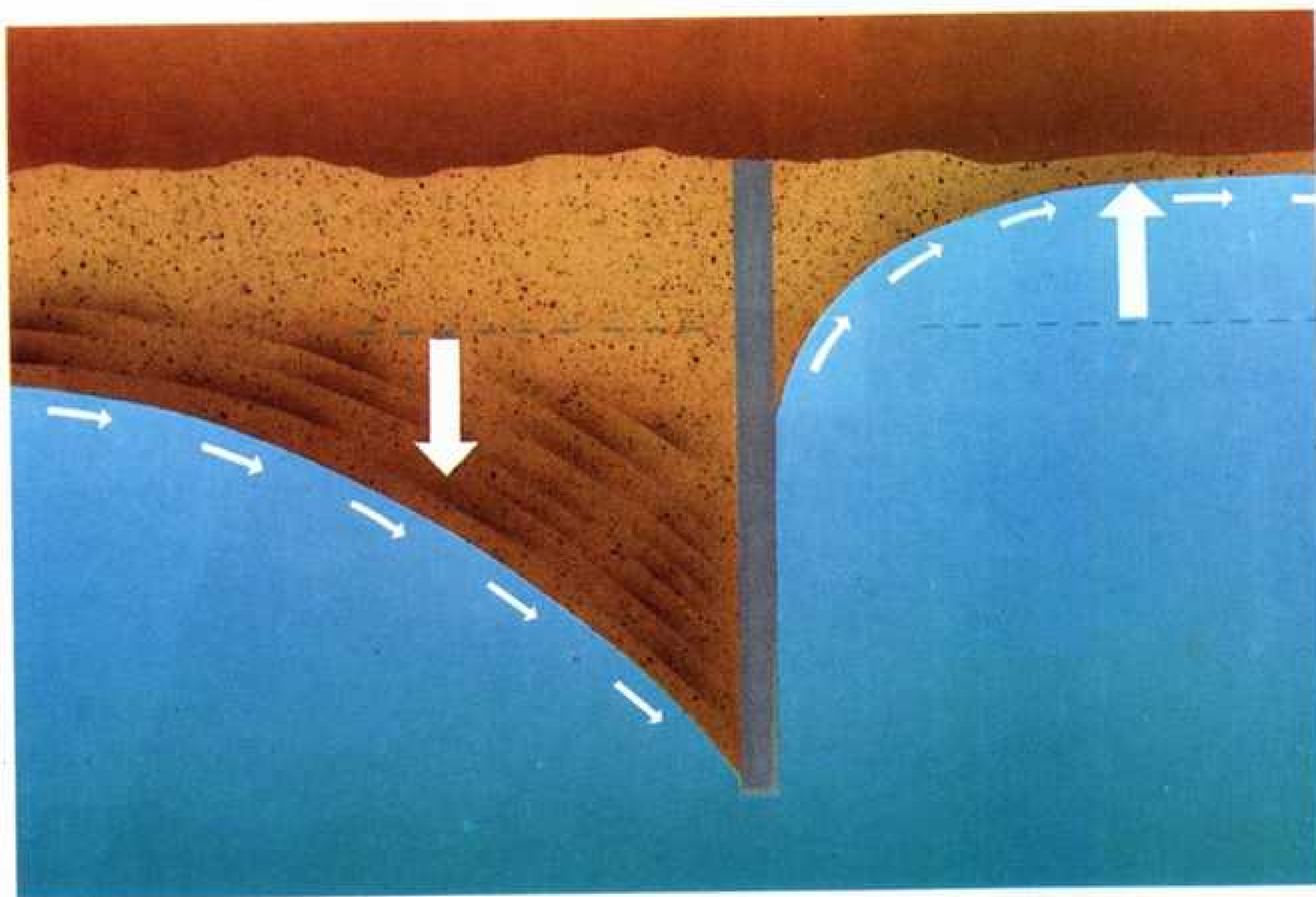
Ciertas arenas tienen un origen directamente volcánico; por ejemplo, las arenas verdes de las playas de Hawai proceden de lavas basálticas. Las arenas blancas y amarillas de los atolones están constituidas por minúsculas partículas de coral y conchas calcáreas arrancadas a los arrecifes por las olas. Las arenas rojas o negras de determinados puntos del viejo continente proceden de la descomposición de granitos rosas impregnados de magnetita. En otros lugares existen arenas ricas en minerales no ferrosos.

Nacimiento y muerte de las playas

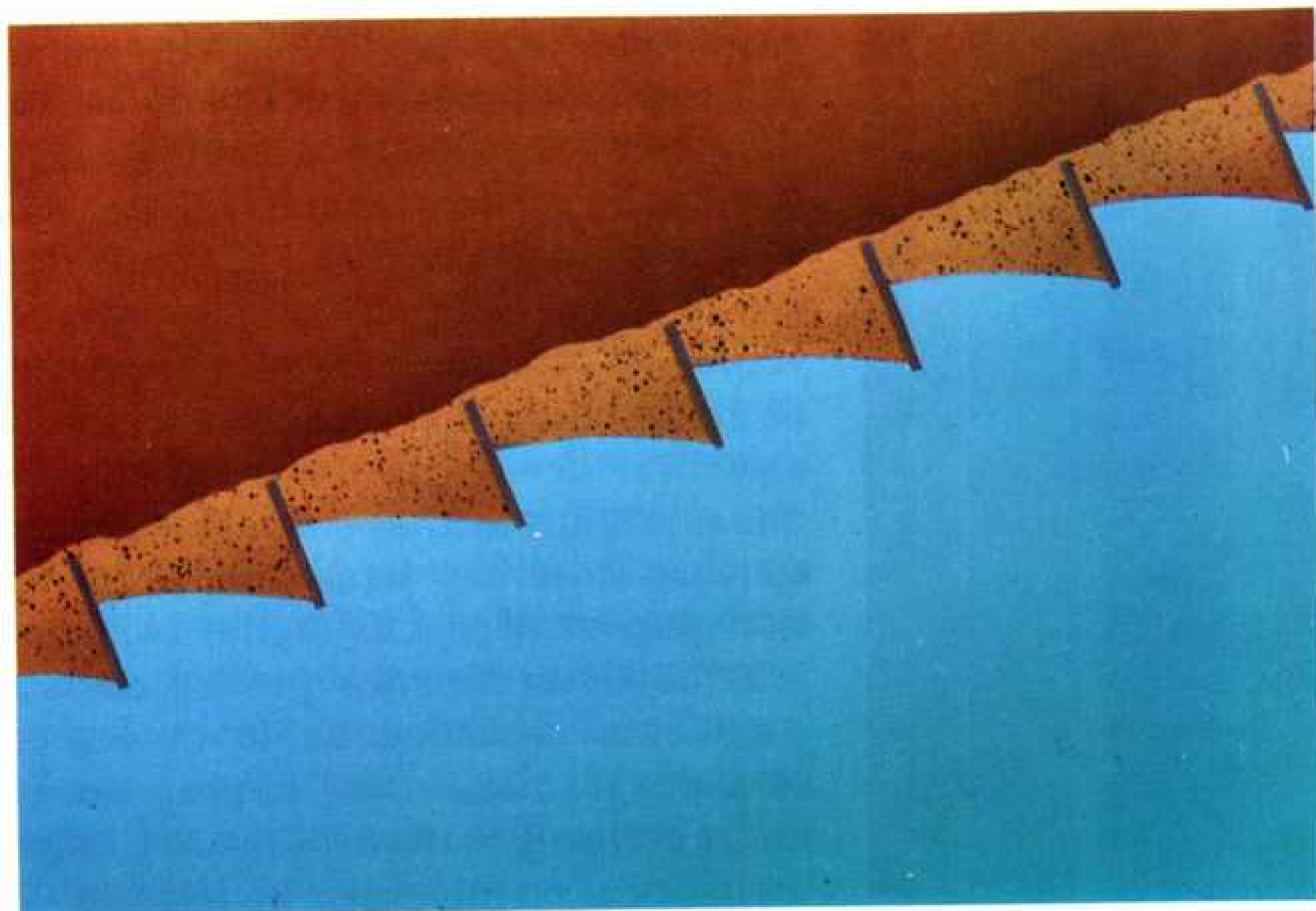
DONDE el oleaje rompe sobre la playa se forma una vorágine de agua y de partículas minerales en suspensión. Al avanzar hacia la orilla, la ola pierde energía y abandona (por simple gravedad) buena parte de la arena que contiene. La resaca acaba de «vaciar» la masa acuática de sus minerales. Cuando las olas embisten a la playa perpendicularmente (porque el viento dominante sopla en ese sentido), el depósito de arena se lleva a cabo de una forma muy regular: la playa tiene una anchura uniforme, y no se advierten especiales puntos de acumulación de materiales. Pero esto es excepcional. La mayoría de las veces, la ola llega oblicuamente con relación a la costa; en estas condiciones, la playa es irregular, y en determinados lugares se observan amontonamientos de arena similares a los que el viento forma con la nieve en la montaña. El depósito será tanto más irregular cuanto más agudo sea el ángulo de incidencia del oleaje.

Cuando el viento cambia, puede muy bien ocurrir que lo que las olas han aportado un día lo retiren de nuevo al otro. Algunas playas son sin cesar construidas y destruidas alternativamente. Por lo demás, las corrientes superficiales juegan un importante papel en este aspecto: aceleran la acumulación de sedimentos en un sitio e intentan su eliminación en otros. Pocas cosas son, por otra parte, tan difíciles de describir y de prever como el enarenamiento y la eliminación de la arena. A pesar de todos sus estudios sobre maquetas, en cubetas artificiales, los ingenieros que construyen puertos «olvidan» a menudo uno u otro parámetro; y no es raro ver cómo las cuencas mejor proyectadas se van llenando en pocos meses de una indeseable arena...

En el proceso intervienen fuerzas considerables: se ha calculado que en ciertos puntos de la orilla, el mar «manipula» ¡250.000 toneladas de arena al año! Hay puertos artificiales que han quedado inutilizados casi desde su inauguración a causa de la arena, y en los que las dragas no logran contrarrestar la sedimentación. Por lo demás, para hacerse una idea de la potencia del fenómeno basta pensar que San Luis embarcó para las Cruzadas en el puerto de Aigues-Mortes, a finales del siglo XIII, y que, sólo setecientos años después, la ciudad se encuentra situada... 12 kilómetros tierra adentro. Las fuerzas de erosión son tan considerables como las fuerzas que intervienen en el rellenado.



La protección de los litorales de arena. En determinados lugares, las corrientes se llevan más materiales litorales de los que la resaca aporta. Entonces, puede interesar limitar esta acción erosiva «rompiendo» el flujo destructor. Esto se logra recurriendo a espigones de hormigón, cuya longitud, orientación y número hay que calcular cuidadosamente (esquemas superior e inferior). Con frecuencia, basta con diques de bloques de roca (a la derecha).





Si las corrientes cambian, o si los vientos dominantes modifican su trayectoria, puede desaparecer en pocos años una magnífica playa «comida» por las olas. A partir de la construcción de la presa de Asuán, en el alto Egipto, el Nilo ya no aporta tantos aluviones como antes (éstos se quedan tras la barrera de contención); esta ausencia de materiales es la causa de que el mar erosione el delta del río: en ciertos sitios, la orilla retrocede varias decenas de metros cada año.

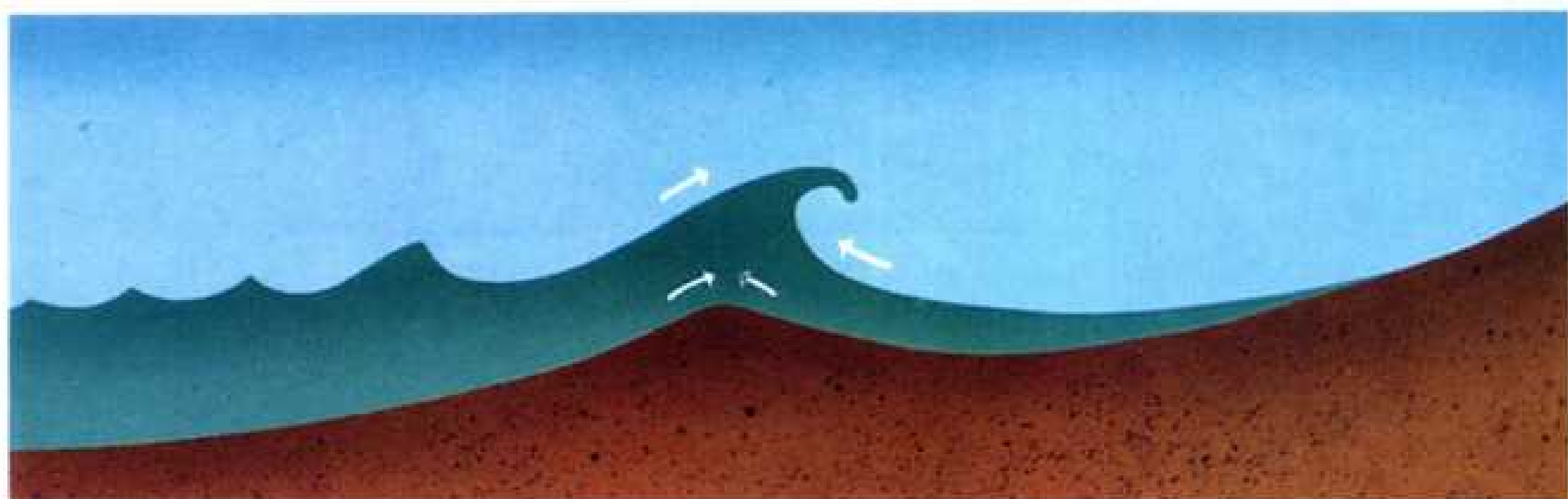
En algunas costas bajas y a cierta distancia de la orilla existe en el mar una franja de arena sobreelevada, que puede emerger y que se llama cordón litoral. Este último se forma poco a poco. En el sitio donde el oleaje rompe, la ola acumula sobre el lecho de arena una masa de sedimentos que aumenta progresivamente. Pronto, ésta es tan elevada que las nuevas olas han de romper antes de llegar a ella. Cuando se ensancha, el cordón litoral delimita, entre el mar abierto y la costa, una albufera más o menos ancha.

Esta albufera se comunica generalmente con el mar por uno o varios canales. Pero estos canales pueden cerrarse a su vez; en tales condiciones, la albufera, sometida al calor del sol, se va evaporando, y se hace cada vez más salada. Su vegetación se modifica: es invadida por plantas que gustan de la sal (halófilas). También su fauna cambia, y tiene lugar la proliferación de pequeñas especies como las artemias, en las que numerosas aves encuentran su nutrición.











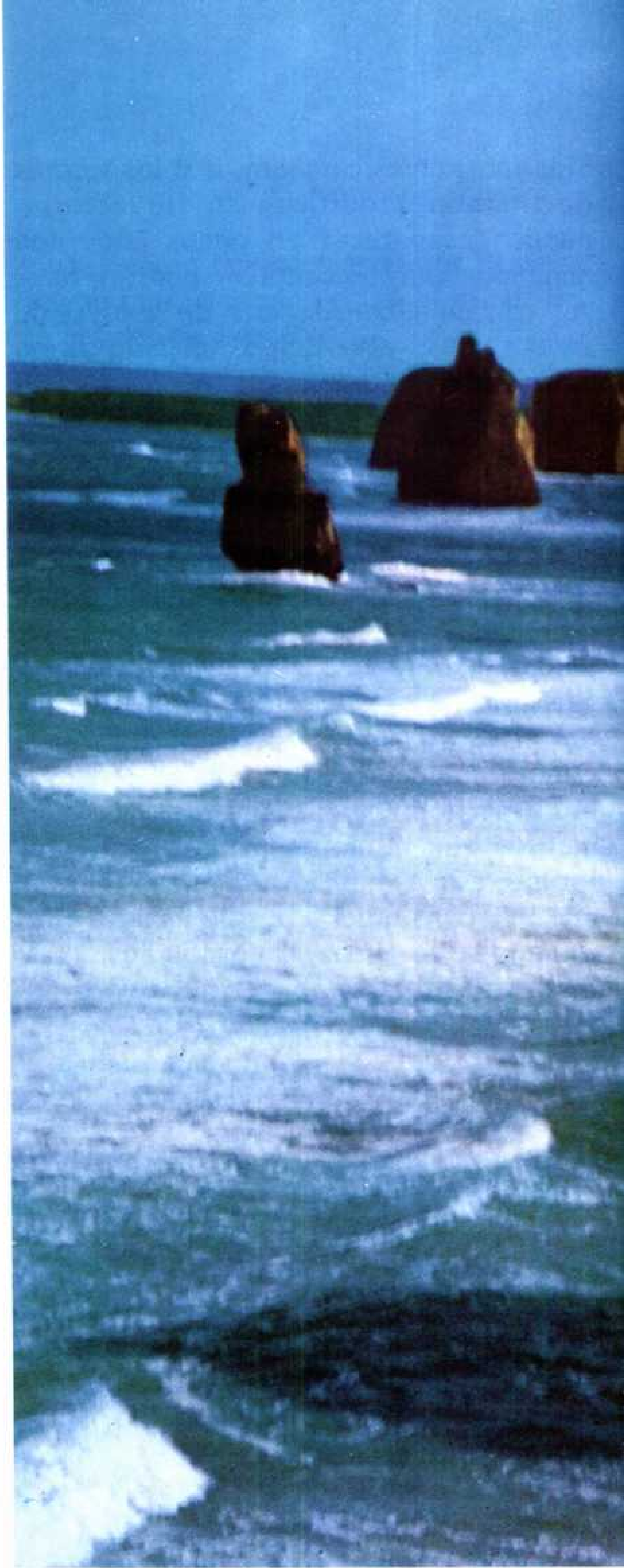
Los cordones litorales. *En todas las playas existe una línea en que el flujo choca con el reflujo, perdiendo parte de su velocidad. Este frenado se traduce en depósitos de materiales que se acumulan en una larga cresta de playa, como se llama, paralela a la orilla (esquemas de la izquierda). Se erige entonces un cordón litoral (fotografía superior). Este último delimita una laguna o una albufera salada y que está comunicada generalmente con el mar abierto por un canal que puede quedar de manera ocasional, y con cierta frecuencia ocurre así, cerrado en su totalidad.*

Los efectos de la erosión





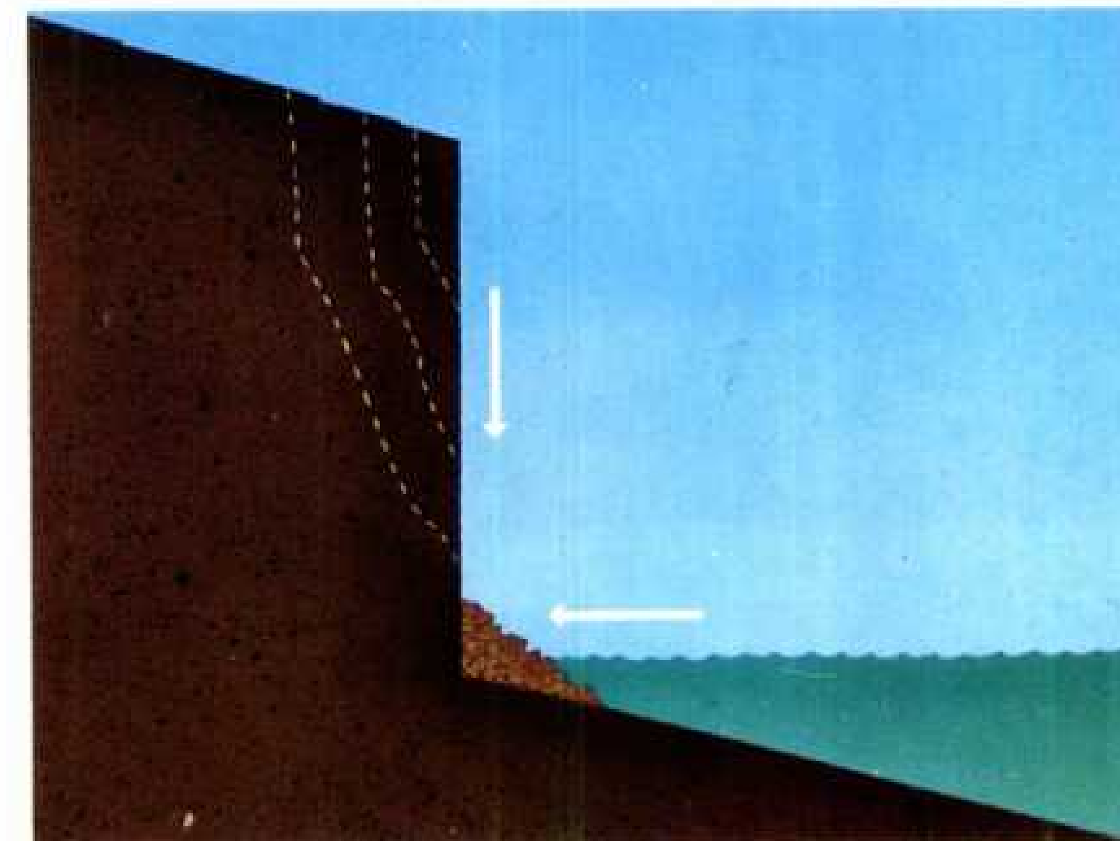


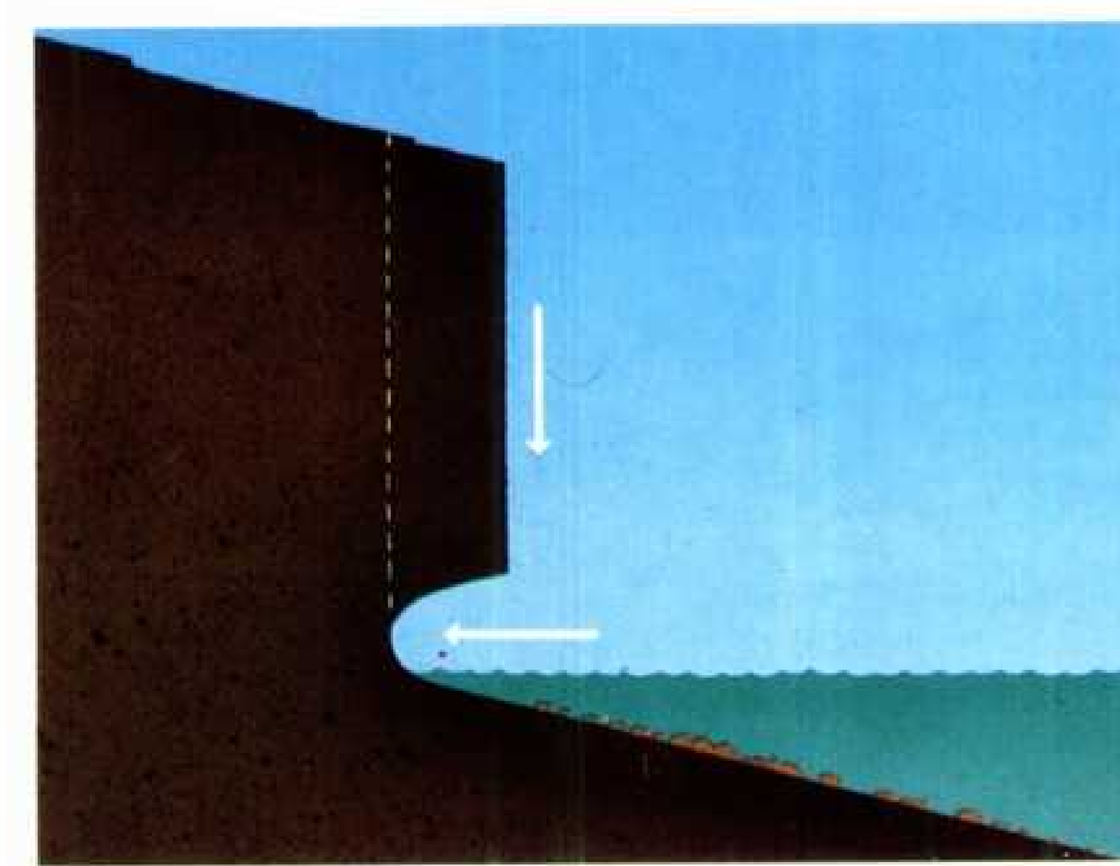


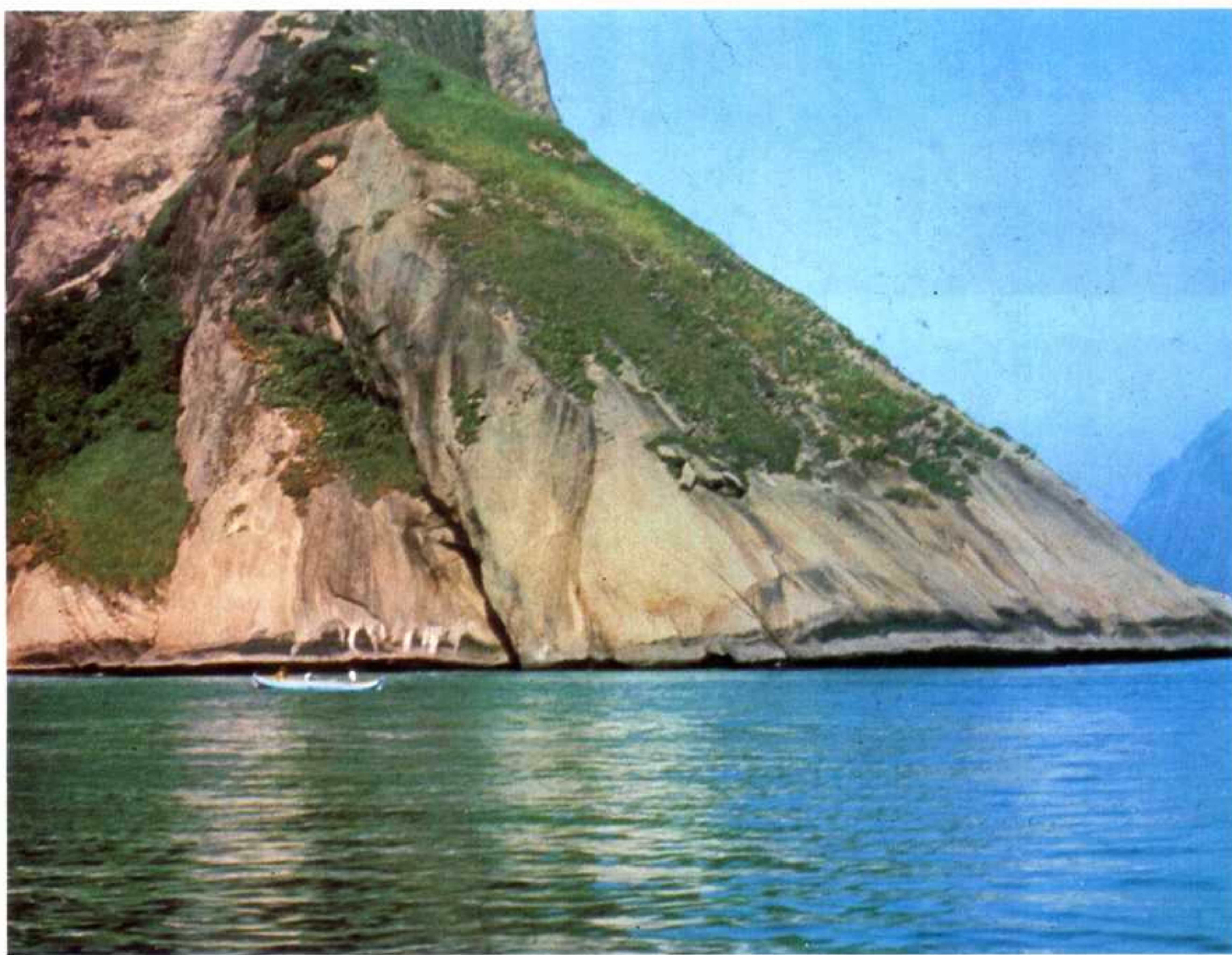
GRAN número de costas están constituidas alternativamente por acantilados y playas de arena o de cantos rodados. Los acantilados, que son afloramientos rocosos, antiguas cuencas sedimentarias sobreelevadas o porciones de cadenas de montañas, son más estables que las zonas bajas. Sin embargo, se ven sometidos a una intensa erosión, tanto por parte de los agentes atmosféricos (viento, lluvia) como de las olas. Las rocas más duras, como los granitos, los gneis o algunas areniscas, ofrecen una resistencia eficaz a los embates de la degradación: su erosión se cuenta en centímetros por siglo. Las rocas blandas, al contrario, como las calcáreas, son prontamente atacadas, y en el mismo espacio de tiempo retroceden decenas de metros. La naturaleza de las costas rocosas depende evidentemente de la geología de la región situada tras ellas. Podríamos decir que existen tres grandes categorías de acantilados, cada una con su facies característica, su historia y su geología.

La erosión de los acantilados. *El mar embiste violentamente los acantilados. Cuando la roca es dura, la erosión es lenta: las olas hacen retroceder la línea de la orilla en sólo unos centímetros por siglo. En las rocas blandas (calcáreas, principalmente) el avance es rápido: al contornear núcleos algo más duros que los otros, el océano esculpe magníficas islas-faro (al lado), como las de la costa de Portland (arriba, a la derecha).*











Evolución de las costas rocosas. *Ciertos acantilados constituidos por rocas muy frágiles (tobas, molasas, etc.) experimentan una enérgica erosión. Cuando son atacados en su base se desmoronan. Si los materiales son arrastrados de inmediato por las corrientes, la erosión continúa (fotografía y esquemas de la página anterior, abajo). Si los materiales se acumulan al pie del acantilado, el proceso de degradación se retarda e incluso llega hasta interrumpirse (esquema de aquí arriba y fotografía de al lado).*

El primer tipo está íntimamente vinculado con la historia de las glaciaciones. A finales del último período glaciar, hace de 5.000 a 10.000 años, cuando se fundieron los casquetes polares, algunas regiones se liberaron de un peso colosal y empezaron a elevarse. Esto se produjo especialmente en la Antártida, en Patagonia, en Nueva Zelanda, en Canadá, en Escocia y en Escandinavia. Estas costas rocosas son escarpadas, y se nota en ellas la presencia de playas estrechas escalonadas, lo que pone de manifiesto el proceso de surrección. Este, en general, no ha finalizado todavía. Las rías y los fiordos se deben a la invasión de los antiguos valles fluviales por las aguas de deshielo.

El segundo grupo de orillas rocosas constituye lo que se llama «costas de tipo atlántico». Se trata de antiguas cadenas montañosas, formadas a menudo en la era Primaria (y, por consiguiente, muy estables), que fueron talladas en su fachada al mar por los efectos de la deriva de los continentes. Se las encuentra en todo el oeste de Francia, de España y de Portugal, así como en Marruecos y en Africa del Sur; del otro lado del Atlántico, caracterizan a Terranova, Nueva Escocia, Nueva Inglaterra y buena parte de las costas brasileñas; análogas se encuentran también a lo largo del borde meridional de Australia.

El tercer tipo de costas rocosas, llamado «pacífico», atestigua una intensa actividad tectónica en curso. Es en estas regiones donde se constituyen las cadenas de montañas, se excavan las grandes fosas oceánicas, los volcanes escupen el magma y, en definitiva, chocan las placas tectónicas de la corteza terrestre. En este tipo de costas, contrariamente a las precedentes, las cadenas de montañas no son perpendiculares a la línea de la orilla, sino paralelas a ella. Para darse una idea, basta con echar una ojeada a los paisajes marinos del Japón o de las islas del Pacífico, como las Hawai, las Marquesas o Tahití. La inmensa costa de las dos Américas pertenece a esta categoría, con la interminable cadena de montañas que las recorre de norte a sur, comenzando desde Alaska, siguiendo por Canadá y Estados Unidos con las montañas Rocosas, continuando a través de México y América Central, recobrando fuerza con la cordillera de los Andes, y finalizando en el sinfín de islas rocosas del sur de Chile...

Naturalmente, todos estos tipos de costas se subdividen en infinidad de casos particulares. Los fenómenos tectónicos presentan tal complejidad que apenas sorprende encontrar decenas de facies de diferentes acantilados. No hay costa que se parezca a otra.



Costas peligrosas. *Cuando el mar embiste costas constituidas por rocas poco compactas, la erosión se acelera. Y puede ocurrir incluso (como en la fotografía de la izquierda) que casas construidas a varias decenas de metros del agua se derrumben al deslizarse el terreno. La única manera de frenar el proceso es reforzar la orilla con muros de piedra.*

EX LIBRIS Scan Digit



The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/

http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/


LOS SECRETOS
DEL MAR
2
JACQUES COUSTEAU
folio